

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Šoupátkový uzávěr vysoké pece

Shaft Locking of Blast Furnace

Student: Ladislav Mruzek

Vedoucí práce: Doc. Ing. Fries Jiří, Ph. D.

Ostrava 2010

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

MRUZEK, L. *Šoupátkový uzávěr vysoké pece: diplomová práce*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2010, 40 s. Vedoucí práce: Fries, J.

Diplomová práce se zabývá horkým větrem, potřebným pro výrobu surového železa ve vysoké peci. Úvod diplomové práce je věnován analýze současného stavu upravování a dopravování horkého větru do vysoké pece a informacím o nich. Dané informace popisují ohřev větru v horkovzdušných ohřívacích, postup větru do vysoké pece a vysokou pec včetně jejího fungování. Práce obsahuje konstrukční projekt šoupátka vysoké pece, který tvoří pevnostní výpočty nejvíce namáhaných částí, a konstrukční řešení. Dále jsou zde popsány jednotlivé prvky tvořící celkovou sestavu a jejich funkce. Práce obsahuje, jako přílohu, výkresovou dokumentaci tohoto mechanismu.

ANNOTATION OF THESIS

MRUZEK, L. *Shaft locking of Blast Furnace*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2010, 40 p. Thesis head: Fries, J.

Thesis goes in for hot blast, production of raw iron in the blast furnace. The introduction of the thesis is devoted to the analysis showing present estate of customizing and transporting hot blast to the blast furnace and complete information about it. All the information describes heating blast in the hot-blast stove, progress of blast to the blast furnace and blast furnace including its operation. Thesis comprises sincere engineering project of shaft locking of blast furnace consisting of the most loaded parts calculation and its design solving. Furthermore there are defined particular component units that are used in the mechanism and functions of them. As an attachment to this project there is drawing documentation of the mechanism stated.

1	ÚVOD.....	7
2	ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU.....	8
2.1	Vysoká pec	9
2.1.1	Procesy ve vysoké peci	11
2.1.2	Produkty vysoké pece	12
2.1.3	Vysoké pece v České republice	13
2.2	Dmýchadla.....	13
2.3	Horkovzdušné ohříváče větru	14
2.3.1	Konstrukční provedení ohříváčů větru.....	16
2.3.2	Ekonomický důsledek zvýšení teploty horkého větru	20
2.3.3	Vliv paliva na zajištění vysoké teploty horkého větru	21
2.4	Škrticí klapka s odpouštěcím zařízením	21
3	ROZBOR KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ ŠOUPÁTKOVÉHO UZÁVĚRU	23
3.1	Popis hlavních částí a jejich funkcí	23
3.1.1	Těleso šoupátkového uzávěru	25
3.1.2	Vnitřní ústrojí.....	26
3.1.3	Rám pohonu	27
3.1.4	Šroubový zvedák.....	28
3.2	Pevnostní kontrola vytypovaných částí šoupátka.....	29
3.2.1	Svary bočních závěsů dle ČSN 050120	29
3.2.2	Svary horních dorazových desek dle ČSN 050120.....	33
3.2.3	Pevnostní kontrola vodící trubky	37
3.2.4	Pevnostní kontrola čepů	39
3.3	Dimenzování 2 šroubů, které přitlačují ucpávku	43
3.4	Výpočet tlaku disku na sedlo.....	44
4	ZÁVĚR.....	47
5	POUŽITÁ LITERATURA	48
6	PŘÍLOHY	49

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

D, d	průměr	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
F	síla	[N]
G	modul pružnosti ve smyku	[MPa]
J	moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]
L, l	délka	[mm]
M _o	ohybový moment	[N.mm]
R _e	mez kluzu v tahu materiálu	[MPa]
W _o	modul odporu průřezu v ohybu	[mm ³]
z	velikost svaru	[mm]
h	výška	[mm]
k	součinitel bezpečnosti	[-]
m	hmotnost	[kg]
n	počet závitů pružiny	[-]
p	tlak	[MPa]
s	tloušťka	[mm]
v	posun	[mm]
z	rozměr pro měření velikosti svaru	[mm]
β	součinitel tloušťky koutového svaru	[-]
σ	normální napětí	[MPa]
τ	smykové napětí	[MPa]

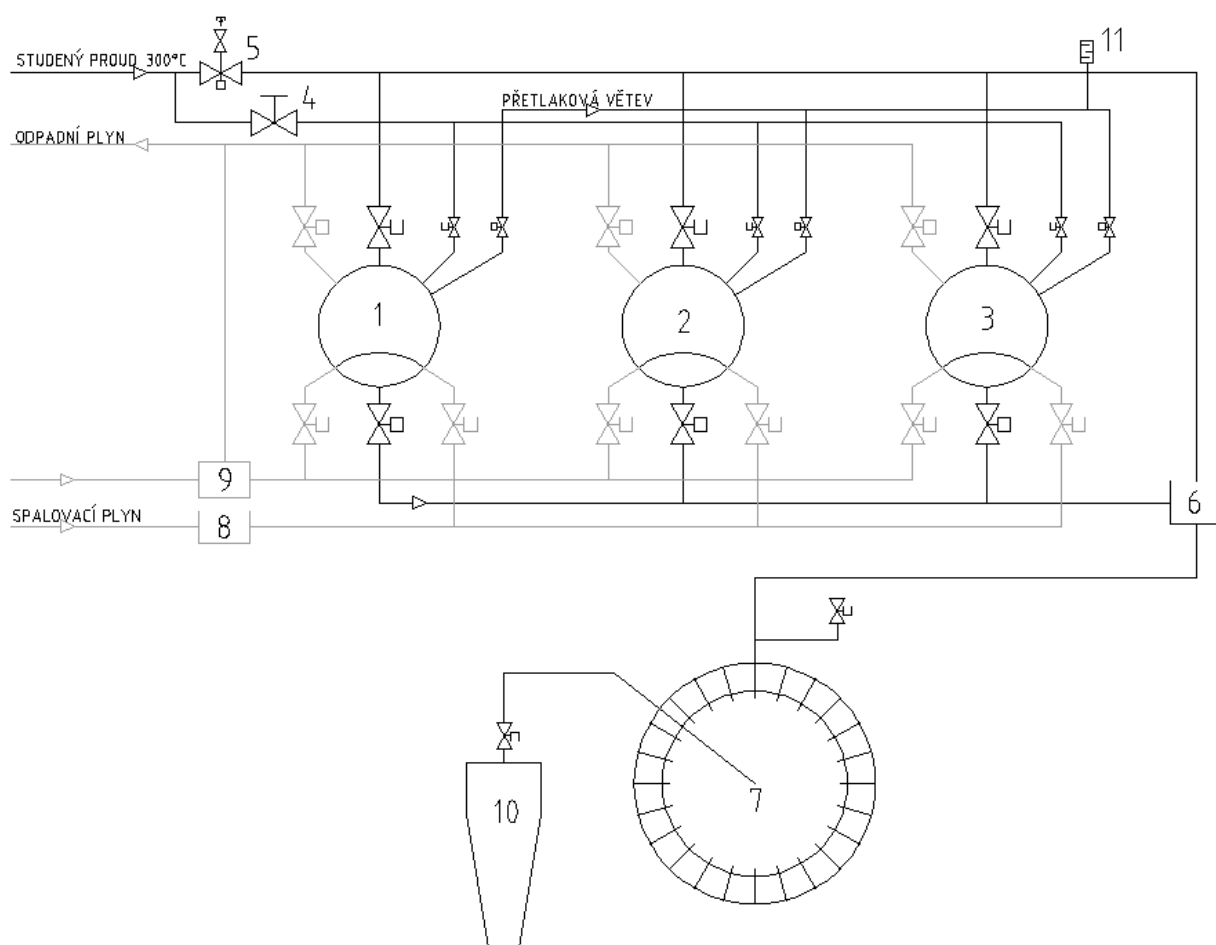
1 ÚVOD

Výroba surového železa je prvotním pilířem dynamicky se rozvíjejícího strojírenského průmyslu. Neustále se zvyšující úroveň strojírenského průmyslu je ve velké míře závislá na průmyslu hutnickém. To má za následek větší produktivitu ve výrobě surového železa. K tomu, aby železářny a ocelárny stačily pokrýt rozvíjející se poptávky po železe, musí se rozvíjet a modernizovat dosavadní technologie. Například zvětšováním objemů vysokých pecí, zaváděním výkonnějších horkovzdušných ohříváčů větru do systému, účinnějším obohacováním teplého větru kyslíkem nebo zaváděním některých nových prvků do systému apod.

Na návrhu jednoho nového prvku pro zavedení do systému jsem se podílel. Je to šoupátkový uzávěr pro potrubí, ve kterém proudí přehřátý vítr. Mým úkolem bylo navrhnout konstrukční řešení s příslušnými pevnostními výpočty jednotlivých součástí.

2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

Do nedávna nebylo možné v systému oběhu horkého větru dodatečně jemně regulovat objem předehřátého větru vstupujícího do ohřívачů větru, který následně proudí do mísiče a pak do vysoké pece. Z tohoto důvodu se zavádí do systému nová potrubní vedlejší větev, která obstarává pomocí regulačních ventilů, pracujících cyklicky, jemné doregulování množství přiváděného větru do ohřívачů větru.



Obrázek č. 1 : Umístění šoupátkového uzávěru v lokačním schéma

1 – ohřívач větru č. 1; 2 – ohřívач větru č. 2;

3 - ohřívач větru č. 3; 4 – šoupátkový uzávěr;

5 – škrtkící klapka s odpouštěcím zařízením; 6 – směšovač; 7 – vysoká pec;

8 – předehřívач plynu; 9 – předehřívач vzduchu; 10 – odlučovač;

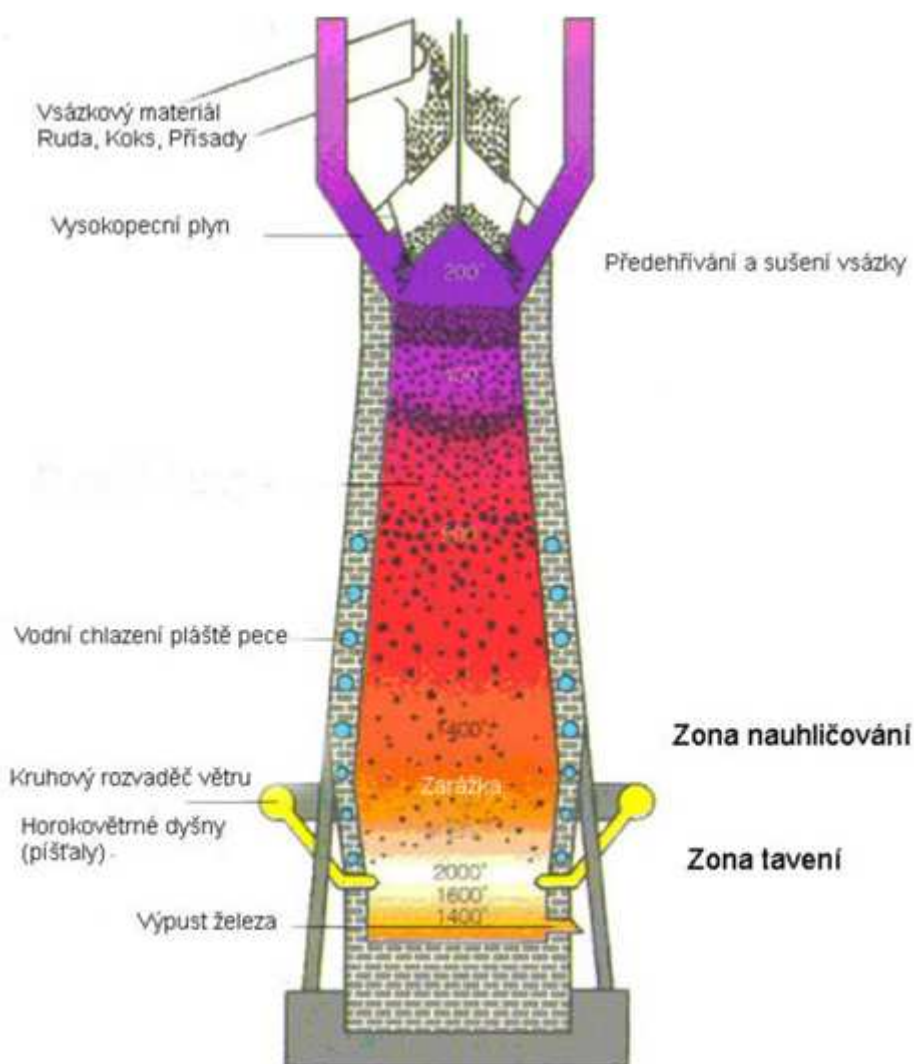
11 – tlumič

Tato potrubní vedlejší větev navíc obsahuje jeden šoupátkový uzávěr a je napojena na hlavní potrubí v místě, před škrtkovou klapkou jak je vidět na obrázku č. 1. Šoupátkový uzávěr je stále v otevřeném stavu a zavírá se pouze v případě, kdy je potřeba provést kontrolu či servis příp. výměnu regulačních ventilů. Ve vedlejší potrubní větvi proudí přehřátý vítr o teplotě 300 °C a tlaku 0,55 MPa. Právě těmito hodnotám je potřeba šoupátkový uzávěr konstrukčně přizpůsobit.

2.1 Vysoká pec

Vysoká pec je metalurgické zařízení, sloužící k výrobě surového železa redukcí z železných rud. Typově je to pec šachtová, vysoká 25 - 40 m. Profil pece je přizpůsoben technologii provozu a měnícímu se objemu vsázky. Skládá se z kuželovité, k základně se rozšiřující vlastní šachty, která se v místě největšího objemu vsázky mění v záražce (která slouží k zadržení celé náplně v peci) v komolý kužel opačný, který se zužuje k základně (viz. obrázek č. 2). Šachta je tvořena silnými ocelovými pláty, vyzděnými ohnivzdornou vyzdívkou a je zvenčí chlazena tekoucí vodou nebo pomocí litinových a měděných chladnic jimiž proudí voda a jsou umístěny mezi pancířem pece a žáruvzdornou vyzdívkou.

Na horním konci šachty je umístěna sazebná sloužící pro doplňování materiálu pro výrobu železa - vsázky. Plnicí otvor je uzavřen dvojitým kuželovým sazebním (kychtovým) uzávěrem. Tento umožňuje jednak zavážení pece vsázkovým materiálem a jednak jej utěsňuje tak, že je možno odvádět vysokopecní plyn do plynojemu na ohřev dmychaného větru. Existuje také tzv. BZS (bez-zvonová sazebná) tvořená dvěma materiálovými komorami. Nad nimi je umístěna pojízdná násypka určující, která mat. komora se bude plnit. V komoře se nachází horní a dolní klapový uzávěr a tzv. segmentový uzávěr určující rychlost vysypávání komory. Pod komorami se pak vsázka sype do otočného rozdělovače, který sype vsázku do předem daných „kružnic“. Přibližně ve výši záražky se nachází kruhové potrubí rozdělovače větru. Přehřátý vzduch (vítr) je odsud přiváděn pomocí dmyšen (také forem, píšťal) do tavicího prostoru vysoké pece. Na nejnižší rovině níže (dna pece) je umístěn výtok roztaveného železa tzv. odpichový otvor. Nad odpichovým otvorem pro surové železo je výtokový otvor strusky. Struska je potom dále zpracovávána přímo u vysoké pece.



Obrázek č. 2 : Vysoká pec (Wikipedia.cz)

Zavážka vysoké pece je doprava železné rudy, koksu a struskotvorných přísad. Provádí se buďto šikmým výtahem (viz. Obrázek č. 3) nebo pomocí velkých zavážecích nádob (košů) a tzv. kolmých výtahů.

Vysokopecní zařízení bývají průměrně deset let v nepřetržitém provozu. Po uplynutí této provozní fáze je prováděna generální oprava celého zařízení

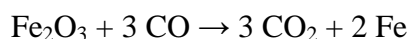


Obrázek č. 3 : Šikmý zavážecí výtah

2.1.1 Procesy ve vysoké peci

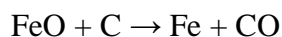
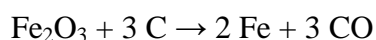
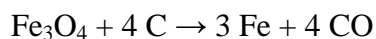
Do vysoké pece se zavází železná ruda, koks a struskotvorné přísady. Ty slouží jednak k snížení tavicí teploty hlušin a jednak k ochraně železa během vysokopecního procesu před zpětnou oxidací. Jsou to vápenec, dolomit a zřídka také křemičitý štěrk. Použitý typ přísady závisí především na kvalitě rudy a jejím indexu bazicity.

V horní části pece se pod sazebnou předeheřívá vsázka a vypařuje se z ní vlhkost. Se stoupající teplotou v nižší části šachty pece dochází ke kontaktu železné rudy s procházejícími spaliny, které obsahují CO. Zde, v teplotním rozmezí mezi 400 a 1 000 °C, probíhá tzv. nepřímá redukce oxidů železa obsažených v rudě (tj. redukce oxidem uhelnatým ze spalin):

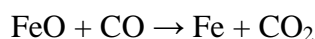
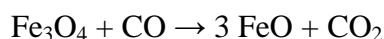
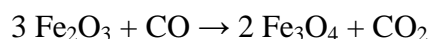


V nižších pásmech pece dále stoupá teplota a dochází zde při teplotách mezi 1 000 a 2 000 °C jak k přímé redukci ještě neredukovaných oxidů železa z již těstovitého až tekutého kovu uhlíkem, tak i k nauhličování taveniny. V surovém železe se obsah uhlíku pohybuje v rozmezí 3,5 až 4,5 %. (Sloučeniny železa s uhlíkem se dělí podle množství uhlíku a teploty, při které vznikají: např. austenit, cementit, perlit, ledeburit, ferit.) viz. diagram Fe-C.

Přímá redukce:



Nepřímá redukce:



Roztavené železo a struska se shromažďují na dně pece v nístěji. Odpichovým otvorem proudí roztavené železo do pánví, pánvových vagonů nebo je odléváno do forem na tzv. housky. Struska bývá přímo na místě granulována a připravena k dalšímu zpracování. Vysokopecní provozy jsou zpravidla součástí integrovaných hutních závodů a tekuté surové železo je ihned přímo dopravováno do oceláren a dále zpracováno na ocel. [<
http://cs.wikipedia.org/wiki/Vysok%C3%A1_pec >]

2.1.2 Produkty vysoké pece

Konečnými produkty vysoké pece jsou surové železo, struska, vysokopecní výhoz a sazební plyn. První z uvedených produktů je hlavní a ostatní jsou vedlejší. Za výrobní odpad lze považovat kal z jemných čističů plynu, avšak i ten se v některých závodech vrací do vysokých pecí v podobě aglomerátu stejně jako vysokopecní výhoz.

Surové železo je polykomponentní slitina železa s uhlíkem, křemíkem, manganem, fosforem a sírou. V závislosti na způsobu jeho dalšího zpracování a na chemickém složení použitých surovin může surové železo obsahovat také titan a v chrom malých koncentracích také měď, arzén a jiné prvky. Přípustné obsahy křemíku, manganu, fosforu, síry a mědi v různých surových železech předepisují normy ČSN.

Z pěti stálých doprovodných prvků obsažených v surovém železe (C, Si, Mn, P a S) nelze přímo ovlivňovat jen obsah uhlíku, zatímco obsahy zbývajících prvků lze do značné míry přizpůsobit požadavkům odběratele.

Surové železa se dělí na surová železa ocelářská, která jsou určena k dalšímu zpracování na ocel různými zkujňovacími pochody, a na surová železa slévářská, z nichž se přetavováním vyrábí litina. K výrobě litiny se v některých případech používá i ocelářského surového železa.

Ocelářská surová železa tvoří obvykle více než 90% celkové výroby surového železa hutního kombinátu a jejich chemické složení musí odpovídat technologii zkujňovacího pochodu.

Slévářská surová železa se vyznačují vyššími obsahy křemíku, avšak rozdílnými obsahy fosforu podle způsobu jejich dalšího zpracování.

Kromě vyjmenovaných druhů surových želez se také zřídka vyrábějí také zvláštní druhy surových želez s vyššími obsahy titanu, vanadu, chromu, niklu apod. a dřevouhelné surové železo, které se vyznačuje velmi nízkými obsahy fosforu (max. 0,03 %) a síry (max. 0,015 %). [1]

2.1.3 Vysoké pece v České republice

V minulosti bylo v České republice poměrně velké množství vysokých pecí, ale jejich počet se postupně snižoval. V současnosti jsou v provozu pouze vysoké pece v Třineckých železárnách a v ostravské Nové huti.

V roce 1998 byl zastaven provoz poslední vysoké pece ve Vítkovických železárnách. Zdejší vysoké pece však nebyly zbourány a společně s bývalou koksovnou a bývalým dolem Hlubina je celý areál jednou z historických dominant Ostravy. Celý tento areál byl prohlášen za národní kulturní technickou památku. [< http://cs.wikipedia.org/wiki/Vysok%C3%A1_pec >]

2.2 Dmýchadla

K dosahování vysoké výrobnosti vysoké pece je nutno dmýchat do nístěje každou minutu 1,6 až 2,2 m³ větru na každý m³ užitečného objemu vysoké pece (nižší hodnota se vztahuje na vítr obohacený kyslíkem). Aby bylo možno udržovat tlak plynu v sazebně např. 0,25 MPa, musí mít dmýchaný vítr tlak asi 0,35 MPa. Předeřhřátý vzduch (700 až 1 000 °C) je pomocí mohutných axiálních oběžných dmýchadel dopravován vyzdřeným potrubím do

dmyšen vysoké pece přes ohříváče větru. Výkonnost dosud největších dmýchadel, která mohou pracovat s tlakem až 0,4 MPa, je 8000 m³/min.

Mnohé vysoké pece pracují s větrem obohaceným kyslíkem a to zejména v těch případech, kdy se současně s větrem dmýchají uhlovodíková paliva (zemní plyn, těžký olej). Potřebný kyslík se získává destilací zkapalněného vzduchu v kyslíkárnách stavěných v blízkosti vysokopecních závodů. Výrobnost velkých kyslíkárenských jednotek dosahuje 35000 m³ kyslíku za hodinu. Kyslík se obvykle přimíchává do nasávaného vzduchu na vstupní straně dmýchadla.

Vítr dodávaný dmýchadlem a příp. obohacený kyslíkem se pak ohřívá na 1000 až 1300 °C v horkovzdušných ohříváčích větru. [1]

2.3 Horkovzdušné ohříváče větru

Horkovzdušné ohříváče větru (vzduchu) jsou poměrně vysoké ocelové válcovité stavby uvnitř vyzděné ohnivzdornou kanálkovou vyzdívkou a vybavené po celé výšce spalnou komorou. Tyto ohříváče mají obvykle rozměry 9 m průměr a 36 m na výšku. K jedné vysoké peci náleží 3 až 4 ohříváče.

Ohříváč se skládá ze základové desky, ocelového pláště válcového tvaru o tloušťce 25 až 30 mm zakončeného polokulovitou kopulí, obvodového zdiva, spalovací šachtice a teplojemné výplně spočívající na keramickém roštu s litinovými podpěrami (viz.Obrázek č.4). Součástí každého ohříváče je plynový hořák.

Větší část vyzdívky ohříváče je šamotová s vysokým obsahem Al₂O₃, pouze kopule a horní část teplojemné výplně bývají z dinasu, který snáší vyšší teploty než šamot, protože teplota pod kopulí dosahuje až 1600°C. Teplojemná výplň vytváří průběžně vertikální kanálky, které se obvykle směrem nahoru rozšiřují (vícepásmová výplň). Nejčastěji se používá šestihranných bloků o tloušťce stěny 40 mm s vertikálními otvory o kruhovém průřezu. Účinný povrch teplojemné výplně bývá kolem 30 m²/m³.



Obrázek č.4 : Horkovzdušné ohříváče větru (Wikipedia.cz)

Při provozu tří ohříváčů u jedné vysoké pece se vždy dva ohříváče vytápějí, zatímco třetí ohřívá vítr. Aby byla udržována stálá teplota větru vstupujícího do vysoké pece, přidává se k větru vystupujícímu z ohříváče proměnlivé množství studeného větru. Při provozu čtyř ohříváčů lze pracovat dvojím způsobem. Buď jsou tři ohříváče vytápěny a čtvrtý ohřívá vítr, nebo se pracuje ve dvojicích (což je hospodárnější): dva ohříváče se vytápějí a dva ohřívají vítr, přičemž se v tomto případě míchá ve vhodných poměrech vítr z různě vytopených ohříváčů.

Přeřazování ohříváčů z vytápění na ohřev větru a naopak se děje automaticky nebo poloautomaticky s blokováním jednotlivých operací, aby byl přesně dodržen bezpečný postup.

Ohříváče se vytápějí vysokopecním plynem zpravidla s přídavkem zemního plynu nebo topného oleje s malým přebytkem vzduchu. Po dosažení maximálně přípustné teploty v kopuli se zvětšuje přebytek vzduchu, aby se teplo akumulovalo i ve spodních vrstvách výplňového zdiva a udržovala se teplota kopule na maximální výši.

Mezi vysokou pecí a ohříváči vzduchu je vysokopecní plyn čištěn a zbavován prachu v cyklonech a následně ve filtrech. [1]

2.3.1 Konstrukční provedení ohříváčů větru

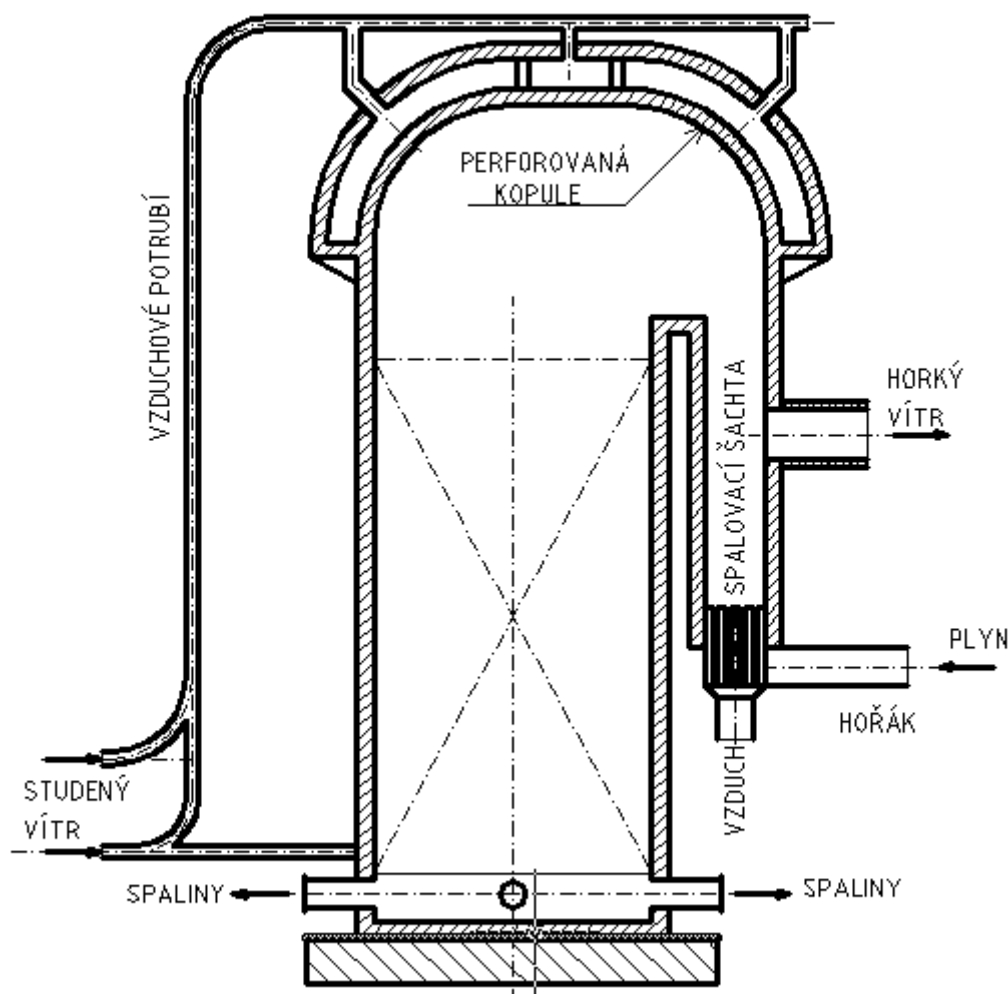
V současné době jsou uplatňovány v zásadě tři různé konstrukční varianty ohříváčů větru pro vysoké předehřátí větru. Především je to opět klasické provedení ohříváče s vestavěnou spalovací šachtou, intenzivně pracujícím hořákem, spalujícím velké množství plynu (smíšený) a tepelně namáhanou vyzdívkou z vysoko-hlinitého šamotu (okolo 55 % Al_2O_3).

Takový typ ohříváče ohřeje $3500 \text{ Nm}^3/\text{min}$ studeného větru na průměrnou teplotu 1250°C . Výhřevnost topného plynu je uvažována 1240 kcal/Nm^3 a spotřeba topného plynu je $55000 \text{ Nm}^3/\text{hod}$. Hořák pracuje se součinitelem přebytku vzduchu 1,05. Výhřevná plocha mřížoví ohříváče je 30000 m^2 .

Dalším typem ohříváče větru, který je uvažován pro předehřívání větru na vysoké teploty je ohříváč se samostatnou spalovací šachtou. Z důvodu ochrany kopule ohříváče před narušením vysokou teplotou spalin je kopule vyřešena dvojitou stěnou, přičemž vnitřní stěna kopule je perforována (viz. Obrázek č. 5). Studený vítr pronikající perforací vytvoří ochranný polštář a tím je prakticky vyloučeno narušení zdiva klenby vysokou teplotou spalin. Tuto úpravu je možno provést s minimálními náklady u stávajících ohříváčů větru

Poslední variantou ohříváče větru pro vysoké předehřátí větru je typ, u něhož spalovací šachta odpadá a kopule je provedena jako topná komora. Takové provedení je velmi náročné na kvalitu a druh žáruvzdorného materiálu a rovněž rozdělení proudění v mřížoví není příznivé.

Z ekonomického hlediska je investičně nejlepší poslední varianta a nejdražší ohříváč se samostatnou spalovací šachtou.



Obrázek č. 5: Ohřívač větru se samostatnou spalovací šachticí a perforovanou kopulí

2.3.1.1 Ocelový plášť

Základní požadavky na ocelový plášť ohřívače větru jsou dokonalá těsnost svarů a taková pevnost konstrukce, aby odolával přetlaku 0,5 MPa. Plášť je proto konstruován jako tlaková nádoba a podléhá tedy po vyzdění předpisům o tlakových zkouškách. Zhotovuje se buď z nízkolegovaných ocelových plechů o tloušťce 25 až 30 mm, nebo z kotlových plechů o různých tloušťkách : ve střední části dna 32 mm, v obvodové části dna kolem 50 mm, ve válcových částech ohřívače a v kopuli 30 až 40 mm. Plechy se svařují elektrostruskově a okraje plechů v místech výřezů pro armatury a průřezy se zesilují ocelovými límcí.

K umožnění kontroly, čištění a oprav jednotlivých částí ohřívače slouží průřezy ve spodní části spalovací komory, pod teplojemnou výplní a v kopuli. Jejich průměr bývá 700 až

750 mm a za provozu ohřívače jsou zazděné. Průlez v osově části kopule je opatřen speciální zátkou s vestavěným termočlánkem k měření teploty pod kopulí.

K plášti jsou dále přivařena hrdla pro napojení plynového hořáku, škrtící klapky, kouřových ventilů a odlehčovacího ventilu.

Spodní část pláště se připevňuje po celém jeho obvodu k základové desce svorníky s roztečí 200 až 300 mm.

2.3.1.2 Vyzdívka

Vnitřní žáruvzdorná vyzdívka ohřívače větru je složena z těchto částí: obvodového zdiva, vyzdívky kopule, vyzdívky spalovací šachtice a teplojemné výplně. U ohřívačů s vnitřní spalovací šachticí se mezi obvodovým zdivem a ocelovým pláštěm ponechává mezera 65 až 120 mm, která se vyplňuje lehkým žáruvzdorným materiálem o nízké tepelné vodivosti. Mezi vyzdívkou kopule a vrchlíkem ocelového pláště se ponechává nevyplněná mezera asi 450 mm, která umožňuje dilataci obvodového zdiva bez poškození ohřívače.

Vyzdívka ohřívačů větru je vystavěna těmto nepříznivým vlivům:

- a) Tepelným namáháním, jejich velikosti i charakter se mění v závislosti na místě jejich působení. Největší rozdíly jsou v obvodovém zdivu a zejména ve spalovací šachtici.
- b) Mechanickým namáháním vyvolaným vlastní tíhou žáruvzdorného materiálu. Největší tlaková pnutí vznikají ve vyzdívce spalovací šachtice.
- c) Chemickým účinkům prachu, obsaženého v topném plynu a spalovacím vzduchu. Prach a alkalické páry difundují dovnitř vyzdívky a vyvolávají fázové přeměny, jako je vznik anortitu a sklovité fáze s obsahem korundu.

Mezi hlavní příčiny deformací vyzdívky ohřívačů patří vymílání a natavování povrchu vyzdívky v kopuli a v horní části spalovací šachtice vlivem vysokých teplot a reakcemi s prachem a alkáliemi, vznik trhlin vlivem rozdílu teplot na obou stranách rozdělovací stěny a teplotní pnutí v souvislosti se střídáním periody vytápění ohřívače s periodou ohřevu větru. K oslabení těchto škodlivých vlivů na trvanlivost vyzdívky v jednotlivých částech ohřívače se využívá různých vlastností různých druhů žáruvzdorného materiálu.

Největší tepelné zatížení je ve spalovací šachtici, v kopuli a v horní části mřížoví. Proto se tyto části ohřívače vyzdívají šamotem s vysokým obsahem (62 až 65 %) Al_2O_3 , nebo se kopule a horní část teplojemné výplně vyzdívá dinasem, jehož předností je vysoká žárovzdornost, 1650 až 1700 °C. Při vysokých i střídavých teplotách je dinas je dinas

objemově stálý a jeho teplotní přitažlivost je zanedbatelná, avšak při teplotách pod 700 °C tato teplotní roztaživost výrazně vzrůstá. Proto se musí dbát, aby jeho teplota neklesla pod tuto hranici a nově vyzdřený ohřívač musí být vytápěn velmi pomalu. Nedostatkem dinasové výplně je její nižší akumulární schopnost, která však vzrůstá se zvyšujícím se obsahem SiO_2 . Dinasová vyzdívka snáší dlouhodobá zatížení při 1550 °C a běžně se pracuje s teplotou kopule až 1550 °C.

Tloušťka obvodové vyzdívky bývá v mezích 345 až 460 mm, tloušťka vyzdívky kopule kolem 450 mm. Důležitý je tvar kopule, který má být dostatečně plochý. Rozložení proudů žhavých spalin se spalovací šachtice je v tomto případě méně příznivé než u vysokých kopulí, ale zmenšuje se tepelné namáhání vyzdívky vlivem menší tloušťky vrstvy sálavých plynů. Druhou výhodou plochých kopulí je možnost zvětšení výšky teplojemné výplně.

Spalovací šachtice ohřívačů byla původně stavěna v ose ohřívače, nyní je její umístění výhradně boční. Tvar jejího průřezu je různý: kruhový, oválný, eliptický, někdy též v podobě kruhové výseče s eliptickým, oválným, nebo kruhovým omezením. Umístění spalovací šachtice má značný vliv na rovnoměrnost rozložení proudů žhavých spalin. Z tohoto hlediska je nejvýhodnější centrální umístění spalovací šachtice, avšak v tomto případě se velmi rychle ničí vyzdívka kopule. Při bočním umístění spalovací šachtice dopadají proudy žhavých spalin na vyzdívku kopule šikmo, takže její vyzdívka méně trpí. Oválný průřez spalovací šachtice je výhodnější než kruhový, neboť nevznikají mrtvé kouty mezi šachticí a obvodovou vyzdívkou ohřívače.

Spalovací šachtice může být buď pevně spojena s obvodovým zdívem ohřívače, nebo může být řešena jako samostatná část. Nevýhodou prvního způsobu je větší pravděpodobnost porušení zdiva v horních vrstvách vlivem značných teplotních rozdílů v obou částech vyzdívky, nevýhodou druhého způsobu je nebezpečí vychýlení spalovací šachtice ze svislého směru a rozdrčení teplojemné výplně.

Tloušťka vyzdívky spalovací šachtice bývá v mezích 460 až 690 mm.

Teplojemná výplň (mřížoví) má za úkol odebírat teplo spalinám, udržovat je až do periody ohřevu větru a předávat mu je. Akumulační schopnost mřížoví závisí především na hmotě použitých tvárnic, kdežto intenzita přestupu tepla je funkcí jejich povrchu. Dobré výplňové tvárnice mají mít proto co největší hmotu připadající na 1 m³ při jejich maximálním povrchu.

Teploty výplně v horních vrstvách jsou srovnatelné s teplotou vyzdívky kopule, kdežto ve spodních vrstvách se blíží teplotě kouřových plynů. Stejně rozdílné jsou i podmínky pro přestup tepla v různých částech ohřívače. V horních vrstvách mřížoví je přestup tepla vlivem

radiace velmi intenzivní a protože se příznivě uplatňuje i vliv teplotních rozdílů mezi žhavými spalinami a mřížovím, přenáší se v horní části ohřívače na 1 m² povrchu asi 8 krát více tepla než ve spodní části. Proto se často používá vícepásmových výplní tak, že postupně směrem shora dolů se zvětšuje povrch tvárníc připadající na 1 t a 1 m³ výplně cestou zmenšování světlého průřezu kanálků i tloušťky stěn výplňových tvárníc.

Protože vícepásmové mřížoví má v horní části ohřívače menší hmotnost připadající na jednotku objemu, jeho akumulární schopnost se snižuje. Proto u ohřívačů, u nichž se požaduje vysoká akumulární schopnost, nejsou vícepásmová mřížoví účelná. Přesto se měrný výhřevný povrch ohřívačů větru neustále zvětšuje.

2.3.2 Ekonomický důsledek zvýšení teploty horkého větru

Hlavním parametrem z hlediska ekonomie vysokopecního procesu se jeví u horkého větru jeho teplota. Zvýšení teploty bez přídavku vlhkosti, CO₂ nebo dalších látek vyžadujících dodatečného tepla pro vyrovnaní tepelné bilance při endotermní reakci, znamená vždy zvýšení stupně využití koksu. Tuto závislost lze stanovit podle vzorce

$$E = \frac{a+b}{k \cdot \omega}, \quad (2.1)$$

kde **E** je úspora koksu [t/t surového železa], **a** je množství tepla dodatečně přivedeného do pece v horkém větru [kcal/t surového železa], **b** je zmenšení spotřeby tepla při přechodu na horký vítr [kcal/t surového železa], **k** je součinitel využití tepla v peci (= teplo užitečné / celkem přivedené teplo) a **ω** představuje množství tepla spotřebovaného na 1 tunu surového železa při nižší teplotě horkého větru [kcal/t surového železa].

V současnosti je hranice ohřevu větru bez přídavku složek vyžadujících teplo na kompenzaci ztrát asi 800 °C až 900 °C. Protože se však s takovými složkami dnes běžně pracuje, je již požadována teplota horkého větru u moderních provozů v perspektivním plánu vyšší než 1300 °C.

V horních pásmech pece dochází k opětové oxidaci části H₂ nebo CO jako produktu štěpení v nížeji pece, tím je uvolněno teplo a vzniká úspora koksu atd.

2.3.3 Vliv paliva na zajištění vysoké teploty horkého větru

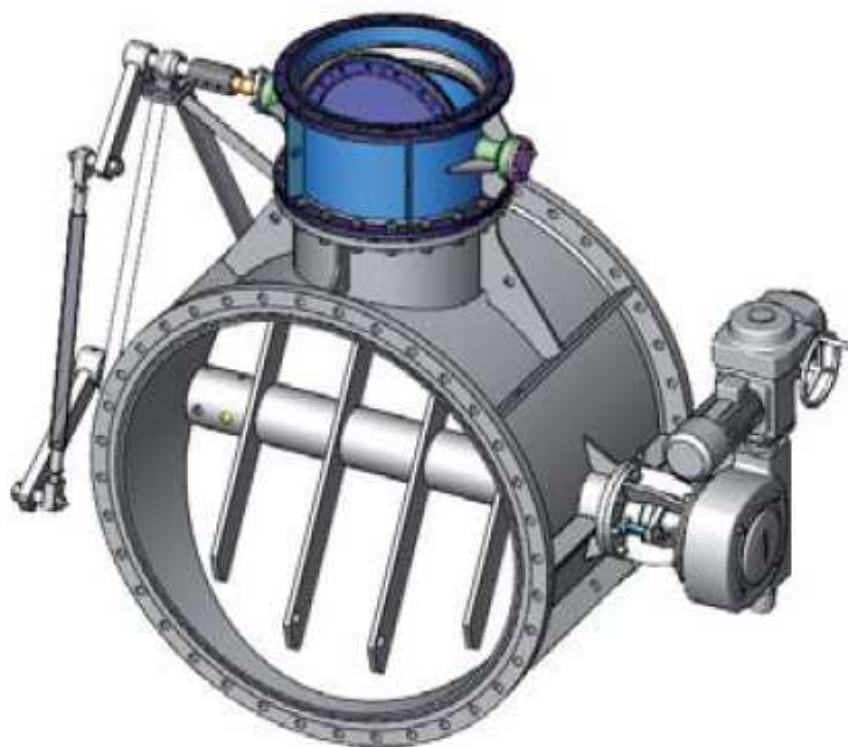
Výrazného vlivu teploty spalin pod kopulí ohřívače na teplotu horkého větru nelze při normálně používaném palivu – vysokopecním plynu, využít. Adiabatická teplota spalování tohoto plynu při průměrné výhřevnosti 900 kcal/m^3 je $1400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a skutečná teplota spalování pak okolo $1200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ podle pyrometrického efektu a přebytku spalovacího vzduchu.

Je nutno tedy změnit buď výhřevnost paliva, nebo předeřhřát spalovací vzduch (příp. i palivo). Také zvýšená koncentrace kyslíku ve spalovacím vzduchu znamená zvýšení adiabatické teploty. Např. pro dosažení skutečné teploty spalin pod kopulí ohřívače $1500 \text{ }^{\circ}\text{C}$ je třeba buď 10 – 15 % přídavku koksárenského plynu do vysokopecního plynu, nebo koncentrace O_2 ve spalovacím vzduchu 30 – 38 %, příp. předeřhřát spalovací vzduch na $500 \text{ }^{\circ}\text{C}$ až $700 \text{ }^{\circ}\text{C}$. V praxi se jeví prozatím nejsnadněji uskutečnitelný způsob zvýšení teploty spalování změnou výhřevnosti paliva. [2]

2.4 Škrticí klapka s odpouštěcím zařízením

Škrticí klapka (viz. Obrázek č. 6) s odpouštěcím zařízením slouží k oddělení ohřívače větru od studeno-větrného potrubí v období vytápění ohřívače. Je použitelná pro maximální pracovní tlak $0,42 \text{ MPa}$ a je umístěna ve svislé poloze tak, aby odpouštěcí zařízení bylo v poloze svislé nad tělesem klapky. Skládá se z vlastní škrticí klapky a spouštěcího zařízení. Vlastní klapka je spojena s pístem odpouštěcího zařízení pomocí táhla a při natáčení klapkou dochází k otevírání nebo zavírání otvorů ve válci. V zavřené poloze klapky se těmito otvory odpouští vzduch buď do atmosféry anebo do atmosféry přes komín. Ovládání škrticí klapky je elektromotorické přes převodovou skříň a nouzové ruční pomocí řetězu a nekonečného řetězu z plošiny umístěné pod škrticí klapkou. Připojení k potrubí je přírubové a utěsnění je realizováno kov na kov.

Celý mechanismus je svařovaný z uhlíkové oceli. Píst, válec a převodová skříň jsou z šedé litiny. Škrticí klapka se zkouší na pevnost, nepropustnost a funkčnost při pěti cyklech otevřeno – zavřeno.



Obrázek č. 6: 3D model škrťací klapky (< <http://www.armaturygroup.cz> >)

3 ROZBOR KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ ŠOUPÁTKOVÉHO UZÁVĚRU

3.1 Popis hlavních částí a jejich funkcí

Šoupátkový uzávěr se skládá z rámu pohonu, tělesa šoupátkového uzávěru a vnitřního ústrojí. Rám pohonu je s tělesem spojen pomocí 22 šroubů M20 umístěných na dvou kontaktních přírubových deskách obdélníkového tvaru. Vnitřní ústrojí je s rámem pohonu spojeno prostřednictvím šroubového zvedáku značky Zimm.

Těleso šoupátkového uzávěru tvoří základ neboli nosnou část celé sestavy, protože se jedná o poměrně velký svařenec vážící asi 400 kg. Důležitou částí tělesa ventilu jsou dvě totožné příruby, pomocí kterých bude šoupátkový uzávěr spojen k potrubí. Spojení bude zajištěno 16 šrouby M24 na každé přírubě.

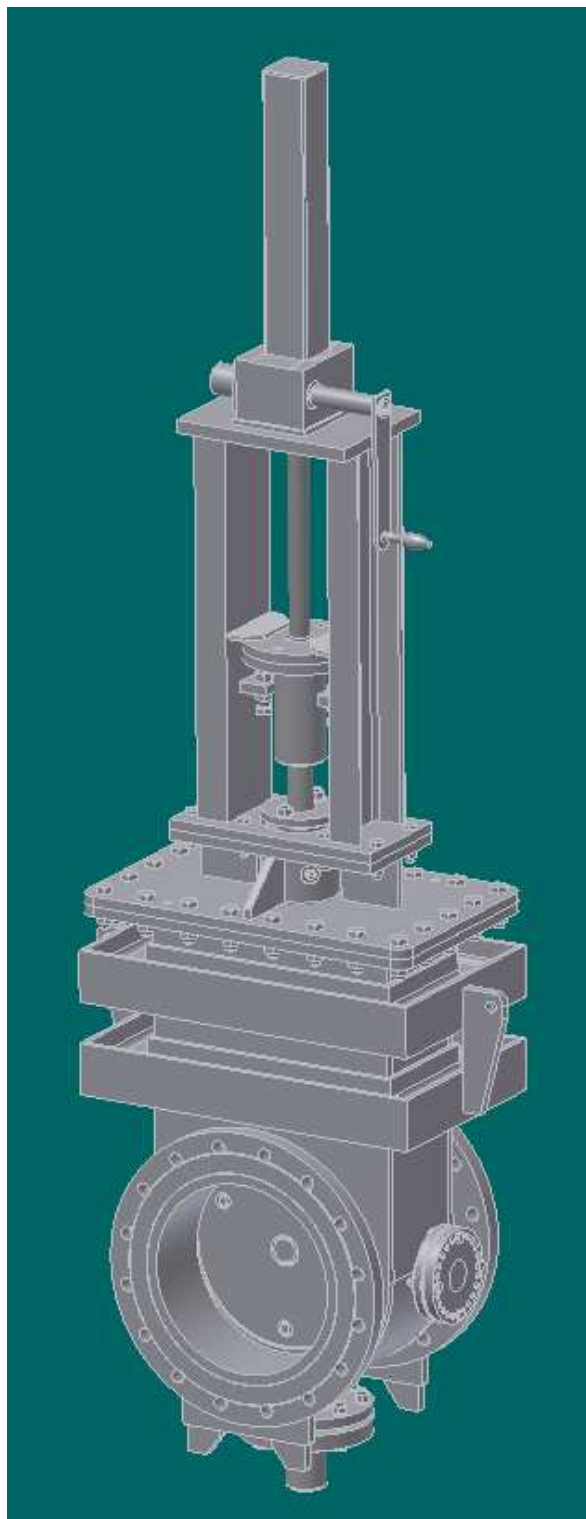
Šroubový zvedák je umístěn nahoře na rámu pohonu a je zajištěn 4 šrouby M12. Součástí zvedáku firmy Zimm je hřídel s nasazenou klikou pro obsluhu. Na konci šroubu zvedáku je přišroubováno vnitřní ústrojí se závitem M30.

Vnitřní ústrojí obsahuje vodící trubku, na jejímž konci je přišroubována vodící šablona, dále disk, který je vytlačován pružinami v axiálním směru na přírubu. Utěsnění a přímočarý pohyb vnitřního ústrojí vůči tělesu zajišťuje vedení s pryžovým těsněním, což jsou součásti tělesa šoupátkového uzávěru.

Popis funkce:

Pokud je šoupátko v otevřeném stavu, dojde při otáčení klikou, umístěnou na hřídeli šroubového zvedáku, ke spouštění celého vnitřního ústrojí. Spuštěním vnitřního ústrojí o svislou vzdálenost 390 mm dosáhne příruba na horním konci vodící tyče prvního částečného dorazu tvořeného dvěma šrouby M20. Následné spouštění na svislé vzdálenosti 27 mm slouží jen pro vyvození konstantní přitlačné síly vyvozené stlačením pružiny umístěné v trubce se závitem. Tzn. na vodící šablonu v nejnižší poloze, vertikálně opřenu o dolní dorazový šroub M30, působí konstantní přitlak od pružiny. Horizontální ukotvení polohy vodící šablony zajišťují při spouštění klíny na obou stranách v. šablony, které se svými plochami o úhlech 20° vzeprou o čepy umístěné zevnitř tělesa šoupátkového uzávěru. Tímto dojde v dolní dorazové poloze k ukotvení horizontální a vertikální polohy vodící šablony. Zároveň disk je přitlačován osmi pružinami v axiálním směru, z jedné strany opírajících se o ukotvenou vodící šablonu, do sedla a tímto dojde k uzavření potrubí.

V opačném případě, k otevírání šoupátka dojde při zpětném otáčení klikou až do horního dorazu pro zvedání, který je tvořen dvěma hranoly čtvercového průřezu přivařených zespoda k desce, na kterou je umístěn šroubový zvedák.



Obrázek č. 7: 3D model šoupátkového uzávěru

3.1.1 Těleso šoupátkového uzávěru

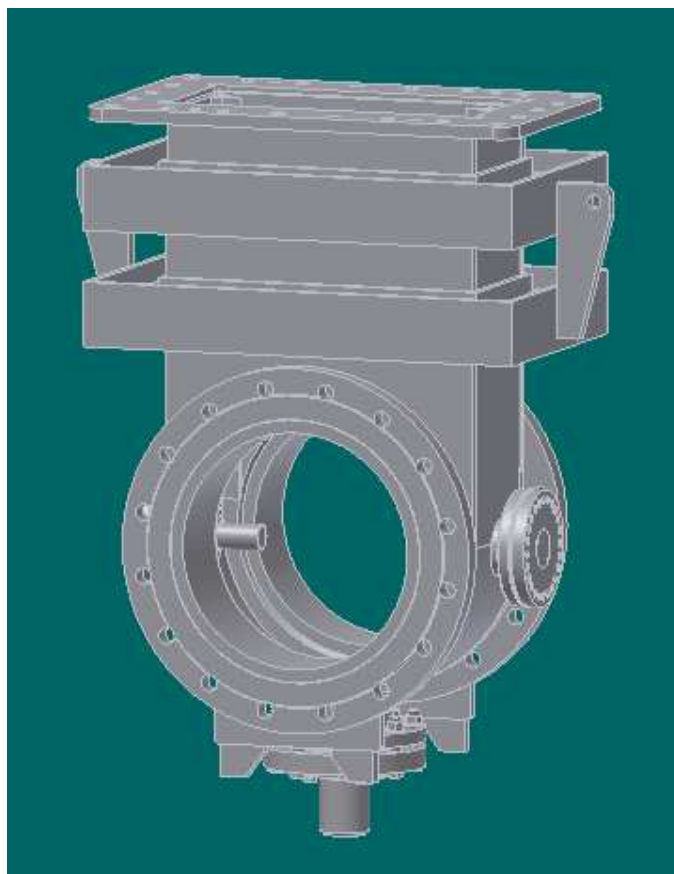
Těleso šoupátkového uzávěru o váze 400 kg je ukotveno na již zmíněných přírubách k potrubí prostřednictvím 32 šroubů M24. Základ celého tělesa ventilu tvoří svařenec z plechů o tloušťce 15 mm (viz. Obrázek č.8). Vzhledem k tomu, že se jedná o svařenec, musí být zvolen materiál se zaručenou svařitelností. Je nutno přihlížet k tomu, že těleso šoupátka bude v kontaktu s horkým větrem o teplotě 300°C. Materiál jsem zvolil 15020 dle ČSN, což je žáruvzdorná molybdenová ocel vhodná pro energetické a chemické zařízení do 530 °C. Mez kluzu oceli je $Re = 265 \text{ MPa}$. Jako polotovary z této oceli jsou vyráběny předvalky, tlusté plechy válcované za tepla, tyče válcované za tepla a výkovky.

Zespoda tělesa šoupátkového uzávěru jsou přivařeny patky o tloušťce materiálu 20 mm, určené pro sestavení v dílně. Rovněž tyto patky zajišťují vodorovnou rovinu nutnou pro sestavení celého mechanismu. Ve spodní části šoupátka je otvor se zaslepovací přírubou a slouží pro vypouštění kondenzátu. V této přírubě je zašroubován šroub o velikosti M30 a délky 200 mm, což je stavitelný doraz vodící šablony.

Dále těleso šoupátkového uzávěru obsahuje dva excentrické čepy sloužící k zajištění vertikální polohy vodící šablony tak, že se šablona opře o čep ze strany disku. Excentrické čepy jsou ukotveny na přírubách čtyřmi šrouby. Tyto příruby mají vyvrtány 24 děr pro šrouby M12 a umožňují nastavení pootočením excentrického čepu po 15 stupních, aby bylo možno čepy vyosovat o jejich excentricitu a tím nastavit případné axiální posunutí vodící šablony.

Těleso šoupátkového uzávěru je svařeno z plechů o tloušťce 15 mm, je vyztuženo po celém svém obvodu profily HEB 100, na něž jsou po obou bocích šoupátka přivařeny závěsy, sloužící k manipulaci se šoupátkovým uzávěrem a jeho ustavení do provozu.

Celá sestava tělesa šoupátkového uzávěru je svařena technologií obloukového svařování a přídatný materiál má stejné mechanické a chemické vlastnosti jako materiál základní.



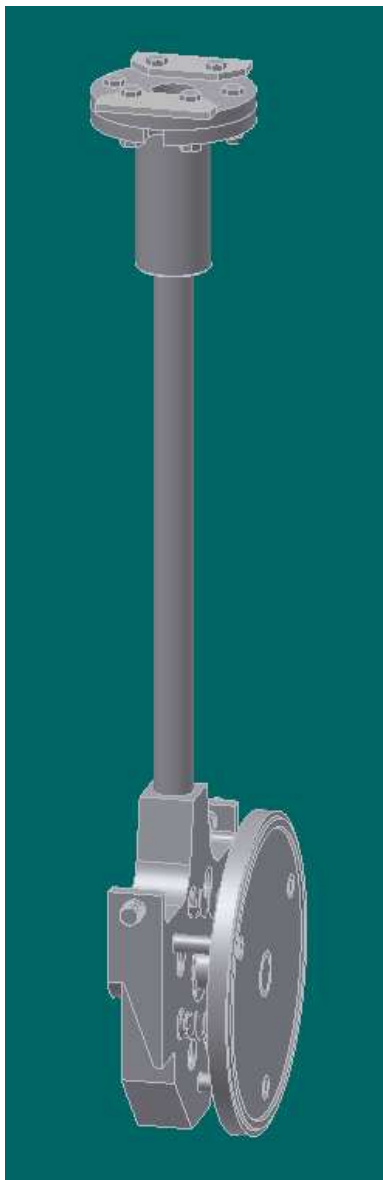
Obrázek č. 8: 3D model tělesa šoupátkového uzávěru

3.1.2 Vnitřní ústrojí

Vnitřní ústrojí je vyrobeno ze stejného materiálu jako těleso šoupátkového uzávěru, tedy z materiálu 15020. Příslušné prvky, umístěné na horním konci vodící trubky, nejsou v kontaktu s horkým větrem, proto jsou vyrobeny z materiálu 11523 dle ČSN 41 1523. Tento materiál má zaručenou svařitelnost a používá se pro velmi namáhané svařence. Napětí na mezi kluzu je 560 MPa. Celek obsahuje vodící trubku s příslušnými prvky, vodící šablonu a disk s vodícími šrouby návarem tvrdokovu a osmi pružinami (viz. Obrázek č. 9). Ovládání vnitřního ústrojí ve směru kolmém na směr proudícího horkého větru zajišťuje šroubový zvedák.

Při pohybu vnitřního ústrojí směrem dolů během montáže nejprve dojde k prvnímu kontaktu disku se segmentem ve tvaru půlměsíce, při následném pohybu segment díky svým úkosům navede disk před sedlo a osm pružin, umístěné mezi diskem a vodící šablonou, konstantní silou přitlačují nepřetržitě disk na dosedací plochu zevnitř příruby čili sedla.

V momentě, kdy dosedne vodící šablona na dolní dorazový šroub, je diskem uzavřen prostor v potrubí, kde proudí horký vítr.



Obrázek č. 9: 3D model vnitřního ústrojí

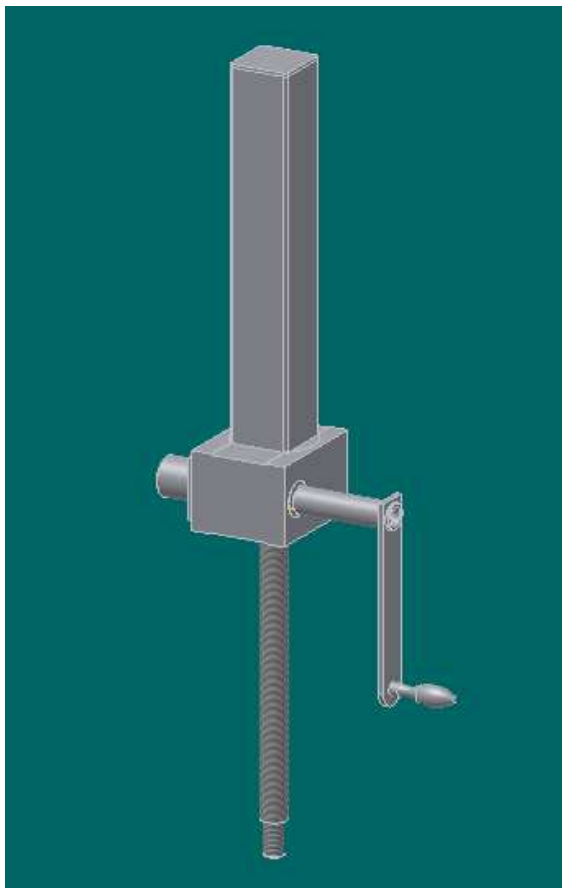
3.1.3 Rám pohonu

Rám pohonu (viz. Obrázek č. 10) se skládá ze dvou profilů HEB 100 o délce 760 mm, kontaktní přírubové desky obdélníkového tvaru s 22 dírami pro šrouby M20, čtyř žeber, vnitřního vedení a horní desky o tloušťce 25 mm, na niž je pomocí čtyř šroubů uchycen šroubový zvedák. Vnitřní vedení obsahuje těsnění, které plní funkci oddělovat prostor horkého větru od okolí. Těsnění je mazáno prostřednictvím maznice. Všechny tyto části jsou

vyrobeny z materiálu 11523 dle ČSN 41 1523. Těsnění, které je vyrobeno z lisovaného grafitu. Zespoda horní desky jsou přivařeny dva hranoly o čtvercovém průřezu sloužící jako dorazy pro zvedání vnitřního ústrojí.

3.1.4 Šroubový zvedák

Zvedání a spouštění vnitřního ústrojí, neboli otevírání a zavírání šoupátka, zajišťuje šroubový zvedák od firmy Zimm. Typ zvedáku: označení – MSZ 5kN, stojatá poloha, normální převodový poměr (tedy 7:1). Na tento zvedák je napojena klika pro obsluhu viz Obrázek č. 8. Šroubový zvedák má lichoběžníkový závit o průměru 40 mm a rozteči 7 mm. Převodový poměr zvedáku je 7:1. Maximální provozní zdvih zvedáku je 400 mm, ale šoupátko je nastaveno na 390 mm prostřednictvím dorazů. Na konci šroubu s lichoběžníkovým závitem je závit M30 délky 85 mm, na který je napojeno vnitřní ústrojí prostřednictvím vnitřního válečku a zajištěno maticí.

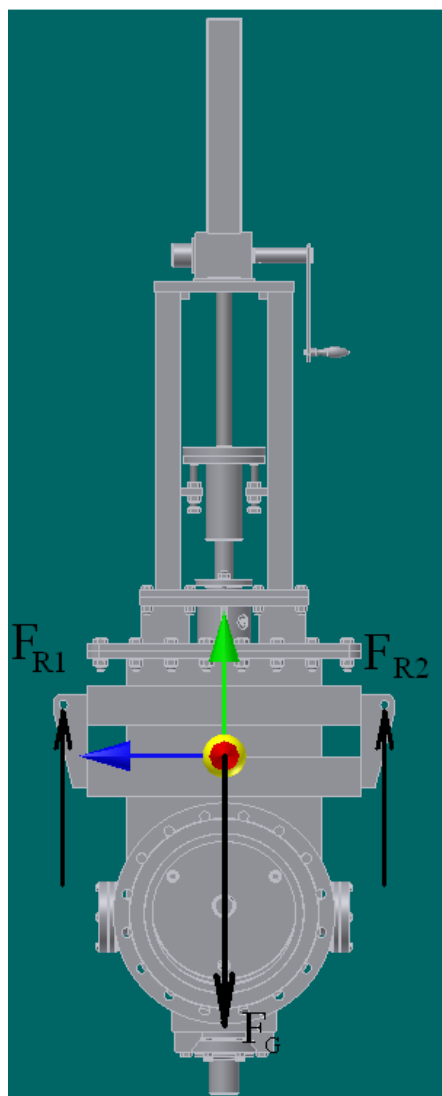


Obrázek č. 10: 3D model šroubového zvedáku

3.2 Pevnostní kontrola vytypovaných částí šoupátka

3.2.1 Svary bočních závěsů dle ČSN 050120

Šoupátko obsahuje dva boční závěsy, které mají svůj důležitý význam z hlediska ustavování celého kompletu do provozu. V bočních závěsech jsou vyvrtány díry o průměru 22 mm, jimiž se provlečou vázací prvky (lana, řetězy), pomocí kterých jsou realizovány důležité pohyby pro ustavení celého kompletu prostřednictvím zdvihacích zařízení (např. jeřáby). Vzhledem k tomu, že s celou sestavou vyrobenou do detailu a dovezenou do provozu, bude manipulováno na ustavovací místo, budou svary bočních závěsů značně namáhány celkovou tíhovou silou působící z těžiště šoupátka kolmo dolů, což je naznačeno na 3D modelu sestavy (viz. Obrázek č. 11).

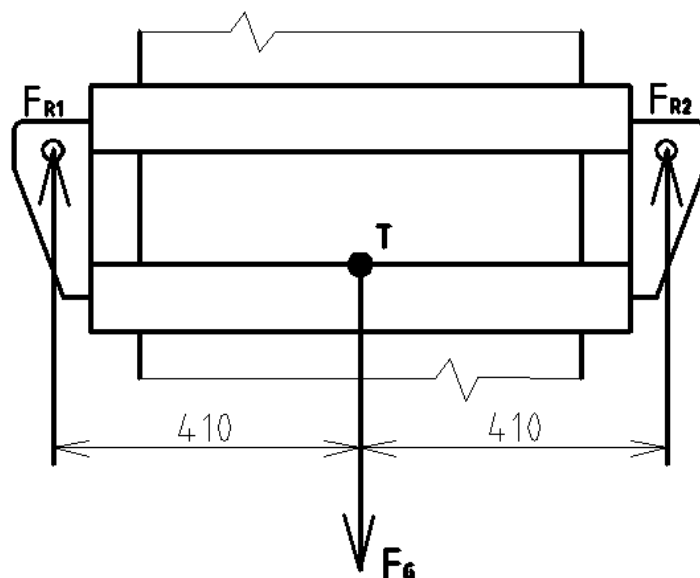


Obrázek č.11: Tíhová síla šoupátka působící z těžiště

Závěs obdélníkového průřezu připojeného k čelní desce koutovým svarem po celém jeho obvodu s přerušením je zatížen polovinou váhy celé sestavy (jak lze vidět na obrázku č.12.).

Znamé hodnoty z konstrukčního návrhu důležité pro výpočet:

$F_G = 6603,5 \text{ N}$, $L = 60 \text{ mm}$, $a = 6 \text{ mm}$, $s = 20 \text{ mm}$, $l = 80 \text{ mm}$, $h = 240 \text{ mm}$, $R_e = 265 \text{ MPa}$.



Obrázek č. 12: Náčrt reakčních sil v momentě, kdy je celá sestava zavěšena

Vyjádření reakčních sil ze vzorce pro silové rovnováhy:

$$\sum F_y = 0$$

$$410 \cdot F_G - F_{R2} \cdot 820 = 0 \quad (3.1)$$

$$F_{R2} = \frac{410 \cdot F_G}{2 \cdot 410}$$

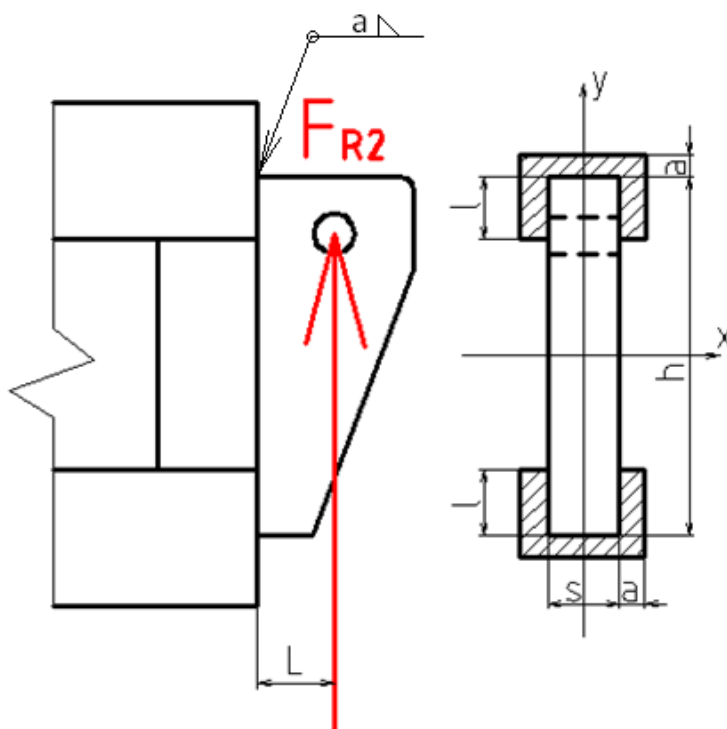
$$F_{R2} = \frac{410 \cdot 6603,5}{820}$$

$$\underline{F_{R2} = 3301,75 \text{ N}}$$

Účinkem reakční síly F_{R2} (viz. Obrázek č. 13) vyvolané tíhou celkové sestavy je svar namáhán současně ohybem a smykem.

Pevnostní výpočty svaru se vztahují na plochu, která se nazývá nosný průřez svaru. Tato plocha je kritickým průřezem, protože má ze všech možných průřezů svaru minimální

plochu. Pro tuto plochu je samozřejmě důležitá hodnota a nebo-li výška koutového svaru promítnutá v jeho trojúhelníkovém průřezu.



Obrázek č. 13 : Sklopený nosný průřez svaru závěsu

Jmenovitá smyková napětí:

– Od ohybového momentu:

$$\tau_{\text{kolmé}} = \frac{M_0}{W_{\text{OSVx}}} = \frac{F_{R2} \cdot L}{\frac{J_{SVx}}{\frac{1}{2} + a}} \quad (3.2)$$

$$\tau_{\text{kolmé}} = \frac{3301,75 \cdot 60}{\frac{11265194,67}{\frac{1}{2} + 6}}$$

$$\tau_{\text{kolmé}} = 0,11 \text{ MPa}$$

Kde kvadratický moment nosného průřezu svaru vůči ose x se určí jako rozdíl kvadratických průřezů (popř. použitím Steinerovy věty):

$$J_{SVx} = \frac{1}{12} \cdot [(s + 2 \cdot a) \cdot (2 \cdot l + 2 \cdot a)^3 - s \cdot h^3] \quad (3.3)$$

$$J_{SVx} = \frac{1}{12} \cdot [(20 + 2 \cdot 6) \cdot (2 \cdot 80 + 2 \cdot 6)^3 - 20 \cdot 240^3]$$

$$\underline{J_{SVx} = 11265194,67 \text{ mm}^4}$$

– Od posouvající síly :

$$\tau_{\text{rovnoběžné}} = \frac{F_{R2}}{2 \cdot S_{SV}} = \frac{F_{R2}}{(s+2 \cdot a) \cdot (2 \cdot l+2 \cdot a) - s \cdot h} \quad (3.4)$$

$$\tau_{\text{rovnoběžné}} = \frac{3301,75}{(20 + 2 \cdot 6) \cdot (2 \cdot 80 + 2 \cdot 6) - 20 \cdot 240}$$

$$\underline{\tau_{\text{rovnoběžné}} = 4,68 \text{ MPa}}$$

Protože posouvající síly ve skutečnosti přenášejí převážně svislé (boční) svary.

Výsledné napětí ve svaru musí vyhovovat pevnostní podmínce :

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\text{kolmé}}}{k_3}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\text{rovnoběžné}}}{k_4}\right)^2} \leq \beta \cdot \sigma_{Dt} = \beta \cdot \frac{R_e}{k_s} \quad (3.5)$$

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\left(\frac{0,11}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{4,68}{0,65}\right)^2} \leq 1,05 \cdot \frac{265}{1,5}$$

$$\underline{\sigma_{\text{red}} = 7,2 \text{ MPa} \leq 176,7 \text{ MPa}} \dots\dots\dots \text{svary závěsů vyhovují statické kontrole}$$

Kde k_s je statická bezpečnost. Závisí na kvalitě provedení svaru a zohledňuje porušení, které může ohrozit lidské životy nebo způsobit větší škody. V běžných případech se volí $k_s \geq 1,5$ [-]. k_3 a k_4 jsou převodní součinitelé zahrnující způsob svařování a zda se jedná o čelní nebo boční koutový svar. V případě svarů závěsů lze zvolit pro čelní koutový svar hodnotu $k_3 = 0,75$ a pro boční koutový svar $k_4 = 0,65$. Tyto hodnoty platí pro ruční svařování elektrickým obloukem s elektrodou o stejné pevnosti jako základní materiál svařovaných částí. β je součinitel tloušťky koutového svaru, který je závislý na hodnotě z . Tento rozměr slouží pro měření velikosti již provedeného koutového svaru:

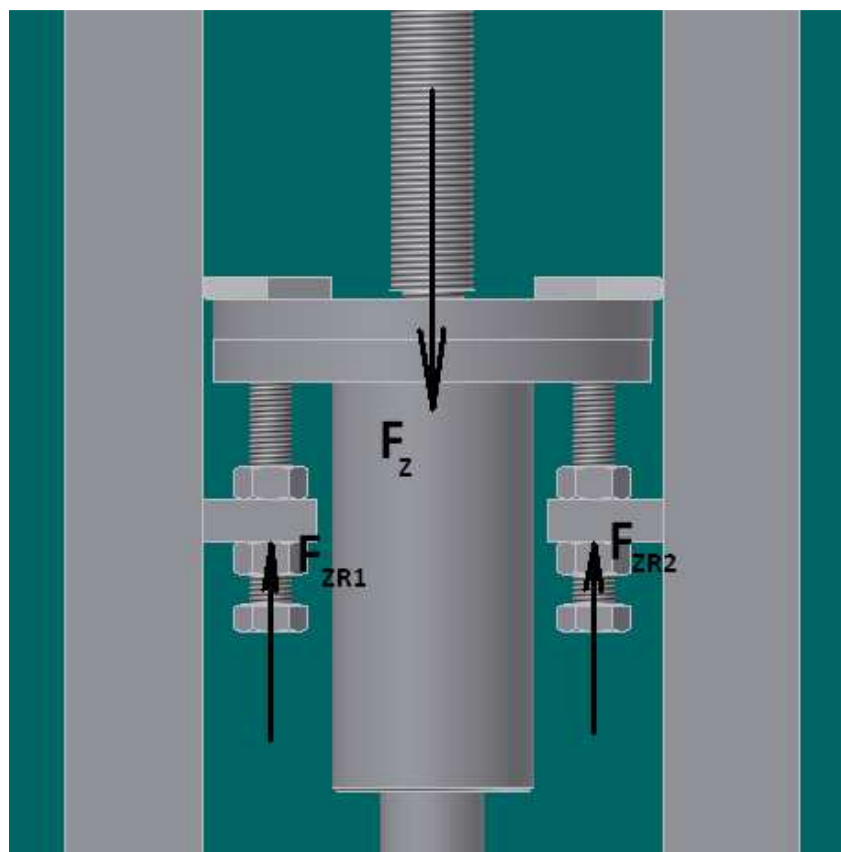
$$\beta = 1,3 - 0,03 \cdot z \quad (3.6) \quad z = 1,41 \cdot a \quad (3.7)$$

$$\beta = 1,3 - 0,03 \cdot 8,46 \quad z = 1,41 \cdot 6$$

$$\underline{\beta = 1,05} \quad \underline{z = 8,46 \text{ mm}}$$

3.2.2 Svary horních dorazových desek dle ČSN 050120

Horní dorazové desky slouží pro prvotní doraz pohybu vodící trubky s šablonou, diskem a jejichž příslušnými prvky, aby po následném spouštění mohla působit navíc síla vyvozená předpětím pružiny. Vodící trubka je spouštěna směrem dolů a v momentě, kdy dosednou kontaktní plochy příruby na dorazové šrouby, působí na dorazové šrouby síla F_Z (viz. Obrázek č. 14). Sílu F_Z vyvolává ruční šroubový zvedák dodávaný firmou Zimm. Síla F_Z je dána výrobcem a činí 5000 N. Rovněž na tuto sílu je dimenzována zátěž, kterou je schopen šroubový zvedák přenést ve svislém směru.

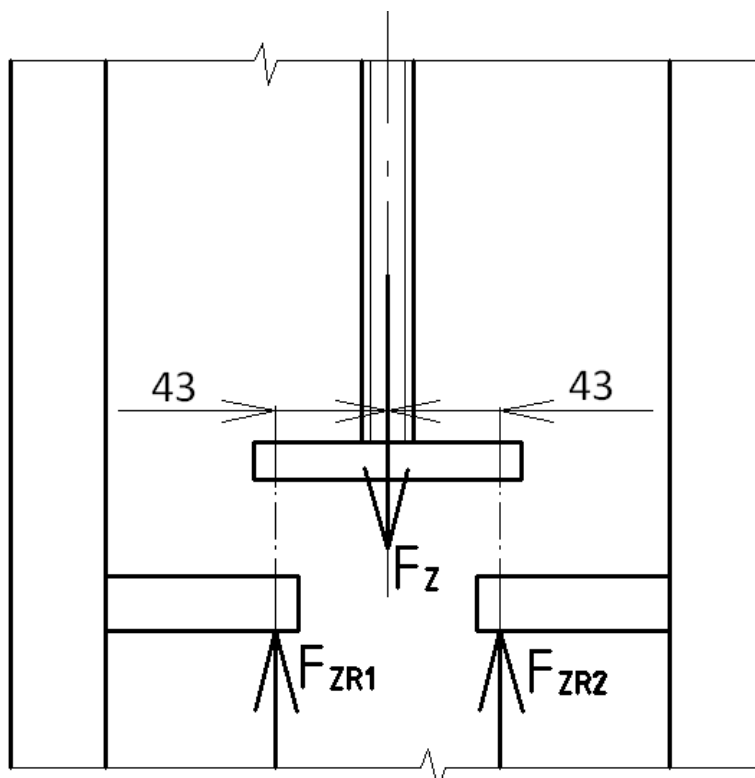


Obrázek č. 14: Působení síly F_Z vyznačené na 3D modelu

Známé hodnoty z konstrukčního návrhu:

$F_Z = 5000 \text{ N}$, $L_D = 43 \text{ mm}$, $a = 5 \text{ mm}$, $s = 60 \text{ mm}$, $l = 20 \text{ mm}$, $R_e = 560 \text{ MPa}$.

Výpočet sil ve vzdálenosti 43 mm od osy vodící trubky (viz. Obrázek č. 15) působících na svary dorazových desek pro šrouby vychází ze silové rovnováhy jako v případě bočních závěsů.



Obrázek č. 15: Náčrt reakčních sil v momentě, příruba vodící trubky leží na dorazových šroubech

$$\sum F_y = 0$$

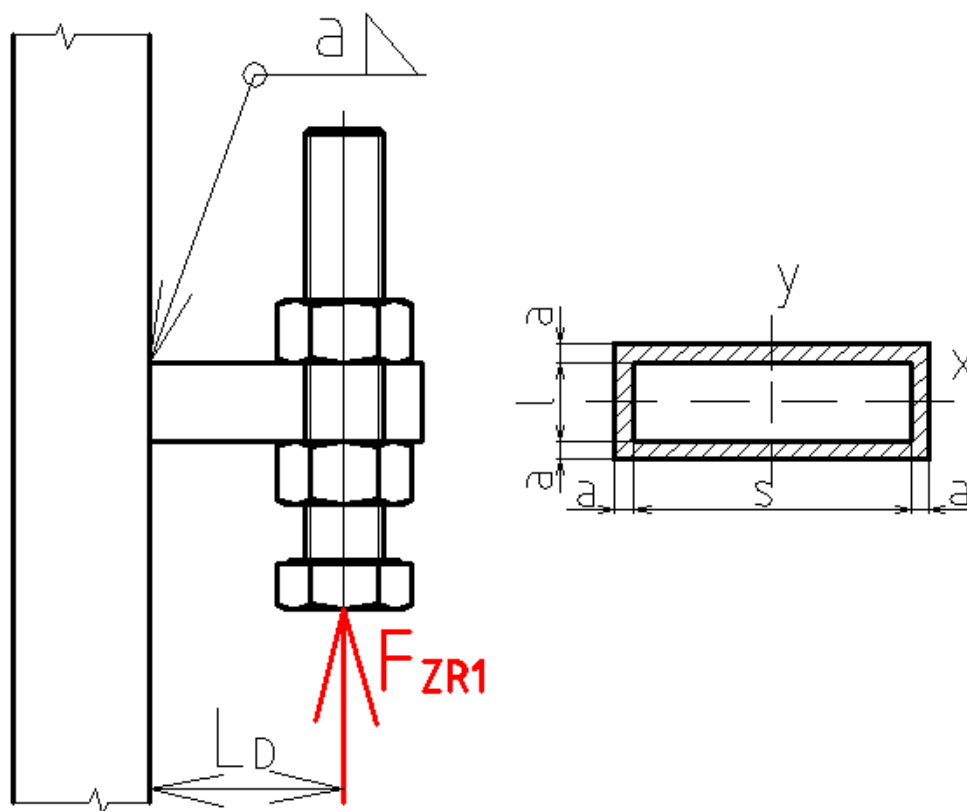
$$F_Z \cdot 67 - F_{ZR2} \cdot 134 = 0 \quad (3.8)$$

$$F_{ZR2} = \frac{F_Z \cdot 67}{134}$$

$$F_{ZR2} = \frac{5000 \cdot 67}{134}$$

$$\underline{F_{ZR2} = 2500 \text{ N}}; \underline{F_{ZR2} = F_{ZR1}}$$

Účinkem reakční síly F_{ZR2} (viz. Obrázek č. 16) vyvolané silou od šroubového zvedáku F_Z je svar namáhán současně ohybem a smykem. Jmenovitá smyková napětí:



Obrázek č. 16: Sklopený nosný průřez svaru horních dorazů

– Od ohybového momentu

$$\tau_{\text{kolmé}} = \frac{M_O}{W_{\text{osvx}}} = \frac{F_{ZR1} \cdot L_D}{\frac{I_{SVx}}{\frac{1}{2} + a}} \quad (3.9)$$

$$\tau_{\text{kolmé}} = \frac{2500 \cdot 43}{\frac{117500}{\frac{1}{2} + 5}}$$

$$\tau_{\text{kolmé}} = 5,03 \text{ MPa}$$

Kde kvadratický moment nosného průřezu svaru vůči ose x se určí rovněž jako v předchozím případě jako rozdíl kvadratických průřezů:

$$J_{SVx} = \frac{1}{12} \cdot [(s + 2 \cdot a) \cdot (l + 2 \cdot a)^3 - s \cdot l^3] \quad (3.10)$$

$$J_{SVx} = \frac{1}{12} \cdot [(60 + 2 \cdot 5) \cdot (20 + 2 \cdot 5)^3 - 60 \cdot 20^3]$$

$$\underline{J_{SVx} = 117500 \text{ mm}^4}$$

– Od posouvající síly

$$\tau_{\text{rovnoběžné}} = \frac{F_{ZR1}}{2 \cdot S_{SV}} = \frac{F_{ZR1}}{(s+2 \cdot a) \cdot (l+2 \cdot a) - s \cdot l} \quad (3.11)$$

$$\tau_{\text{rovnoběžné}} = \frac{2500}{(60 + 2 \cdot 5) \cdot (20 + 2 \cdot 5) - 60 \cdot 20}$$

$$\underline{\tau_{\text{rovnoběžné}} = 1,26 \text{ MPa}}$$

Výsledné napětí ve svaru musí vyhovovat pevnostní podmínce :

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\text{kolmé}}}{k_3}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\text{rovnoběžné}}}{k_4}\right)^2} \leq \beta \cdot \frac{R_e}{k_s} \quad (3.12)$$

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\left(\frac{5,03}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{1,26}{0,65}\right)^2} \leq 1,09 \cdot \frac{560}{1,5}$$

$$\underline{\sigma_{\text{red}} = 6,98 \text{ MPa} \leq 406,93 \dots \dots \dots \text{svary dora} \checkmark \text{ vyhovují statické kontrol} \checkmark}$$

Kde k_s je opět statická bezpečnost. Tato bezpečnost je opět zvolena hodnotou $k_s \geq 1,5$ [-]. k_3 a k_4 jsou převodní součinitelé zahrnující způsob svařování a zda se jedná o čelní nebo boční koutový svar. V případě svarů horních dorazů lze zvolit pro čelní koutový svar hodnotu $k_3 = 0,75$ a pro boční koutový svar $k_4 = 0,65$ jako v případě bočních závěsů. Tyto hodnoty platí pro ruční svařování elektrickým obloukem s elektrodou o stejné pevnosti jako základní materiál svařovaných částí. β je součinitel tloušťky koutového svaru, který je závislý na hodnotě z . Tento rozměr slouží pro měření velikosti již provedeného koutového svaru:

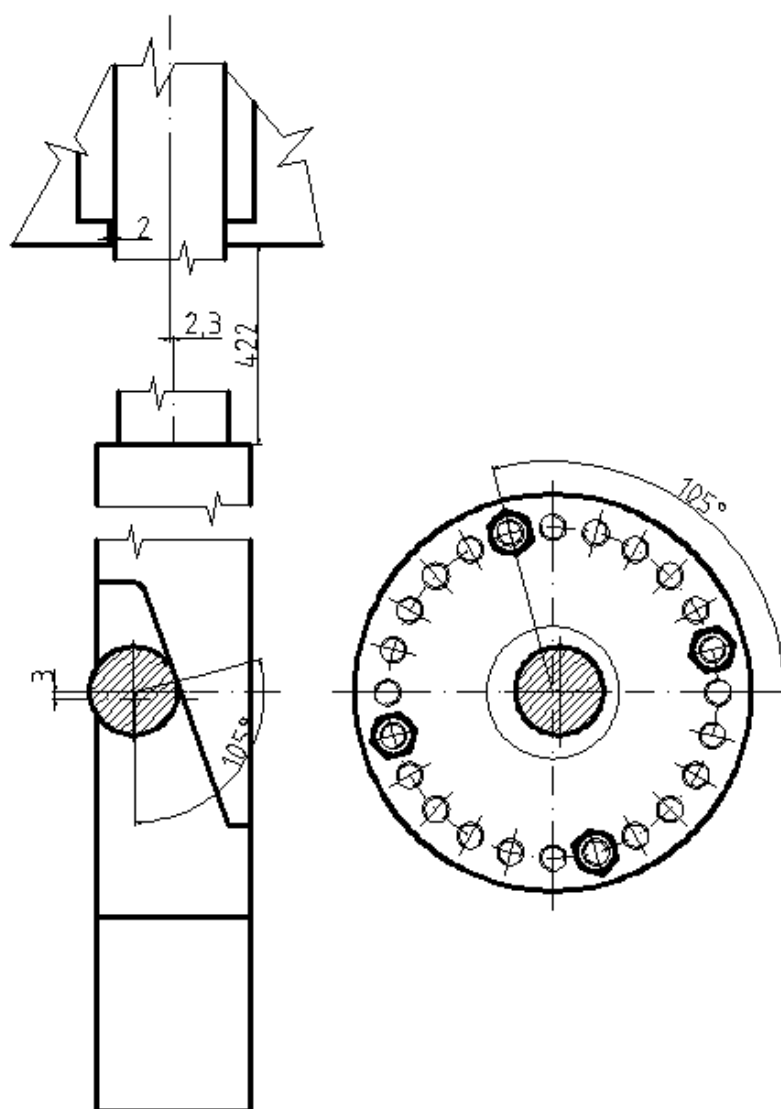
$$\beta = 1,3 - 0,03 \cdot z \quad (3.13) \quad z = 1,41 \cdot a \quad (3.14)$$

$$\beta = 1,3 - 0,03 \cdot 7,05 \quad z = 1,41 \cdot 5$$

$$\underline{\beta = 1,09} \quad \underline{z = 7,05 \text{ mm}}$$

3.2.3 Pevnostní kontrola vodící trubky

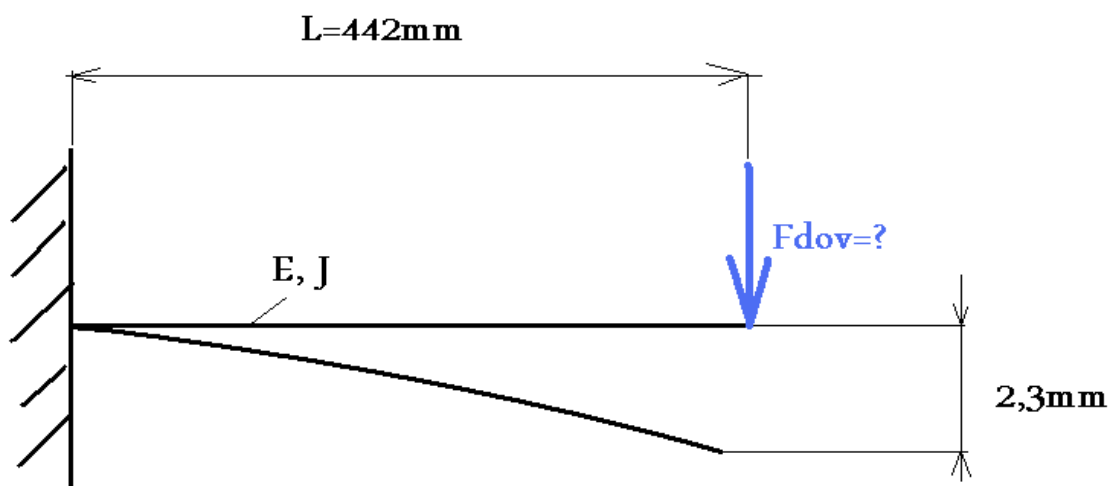
Vodící trubka šoupátka je jednou z hlavních částí vnitřního ústrojí. Na konci vodící trubky je napojen vodící disk, který se svými dvěma klínovými opěrnými plochami opírá o excentrické kolíky vyosené o 3 mm. Vodící trubku je nutno zkontrolovat z pevnostního hlediska, protože dojde k největšímu ohybu v momentě, kdy dosedne vodící trubka s vodícím diskem do nejnižší polohy a kdy jsou excentrické kolíky pootočený do nejzazší polohy (viz. Obrázek č.17).



Obrázek č. 17: Největší prohnutí vodící tyče při pootočení excentru o 105°

Materiál tyče je stejný jako u ostatních součástí vnitřního ústrojí, tedy ocel 11416. Dovolené napětí na mezi kluzu tohoto materiálu při teplotě 300 °C je $R_e = 230$ MPa. V následujícím příkladě musím vycházet z posunu konce trubky o velikosti 2,3 mm, na

základě kterého zjistím maximální napětí v ohybu. Toto max. napětí nesmí být větší než dovolené napětí v kluzu použitého materiálu. Pro zjednodušené znázornění příkladu je vodící trubka načrtnuta jako převislý nosník na obrázku č. 18. Předpokládejme, že vodící disk je dostatečně tuhý a pevný.



Obrázek č. 18: Příklad průhybu vodící trubky

Znamé hodnoty z konstrukčního řešení:

$L = 442 \text{ mm}$, $v_{(L)} = 2,3 \text{ mm}$, $\sigma_{DOV} = 113,3 \text{ MPa}$ pro $300 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$v = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot J} \Rightarrow F = \frac{3 \cdot v_{(L)} \cdot E \cdot J}{L^3} \quad (3.15)$$

$$F = \frac{3 \cdot 2,3 \cdot 210000 \cdot 389046,8}{442^3}$$

$$\underline{F = 3528,4 \text{ N}}$$

Kde E je modul pružnosti v tahu (u ocelí nabývá hodnot 210000 MPa) a J je moment tuhosti v ohybu:

$$J = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64} \quad (3.16)$$

$$J = \frac{\pi \cdot (50^4 - 36^4)}{64}$$

$$\underline{J = 389046,8 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma = \frac{F \cdot L}{J} \cdot y = \frac{F \cdot L}{J} \cdot \frac{D}{2} \quad (3.17)$$

$$\sigma = \frac{3528,4 \cdot 442}{389046,8} \cdot \frac{50}{2}$$

$$\sigma = 61,37 \text{ MPa}$$

σ je podělena σ_{DOV} a vyjde bezpečnost k , která musí nabývat hodnot $k \geq 1,2$:

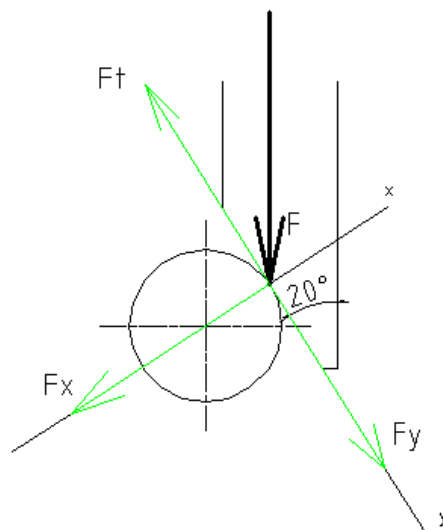
$$k = \frac{\sigma_{DOV}}{\sigma} \geq 1 \quad (3.18)$$

$$k = \frac{113,3}{91,37}$$

$k = 1,84$ vodící trubka vyhovuje pevnostní podmínce s bezpečností $k = 1,84$.

3.2.4 Pevnostní kontrola čepů

Čepy jsou značně namáhány na ohyb silou F_x v momentě dosednutí vodící šablony do dolní dorazové polohy jak je vidět na obrázku č. 15. Sílu F , kterou působí vodící šablona na čepy, je rozložena na tři složky viz. obrázek č. 19.



Obrázek č. 19: Rozklad sil působících na čepy

Síla F se skládá z tíhové síly F_{GV} a směrní síly pružiny F_D , kterou působí pružina na vodící trubku. Při stlačení pružiny na délku 75 mm z původní montážní délky 102 mm, jak je vidět

na obrázku č. 20, nabývá směrná síla hodnotu $F_D = 1887 \text{ N}$ viz. katalog Hennlich a linearita pružiny na obrázku č. 25.

$$F = F_{GV} + F_D \quad (3.19)$$

$$F_{GV} = m_{GV} \cdot g \quad (3.20)$$

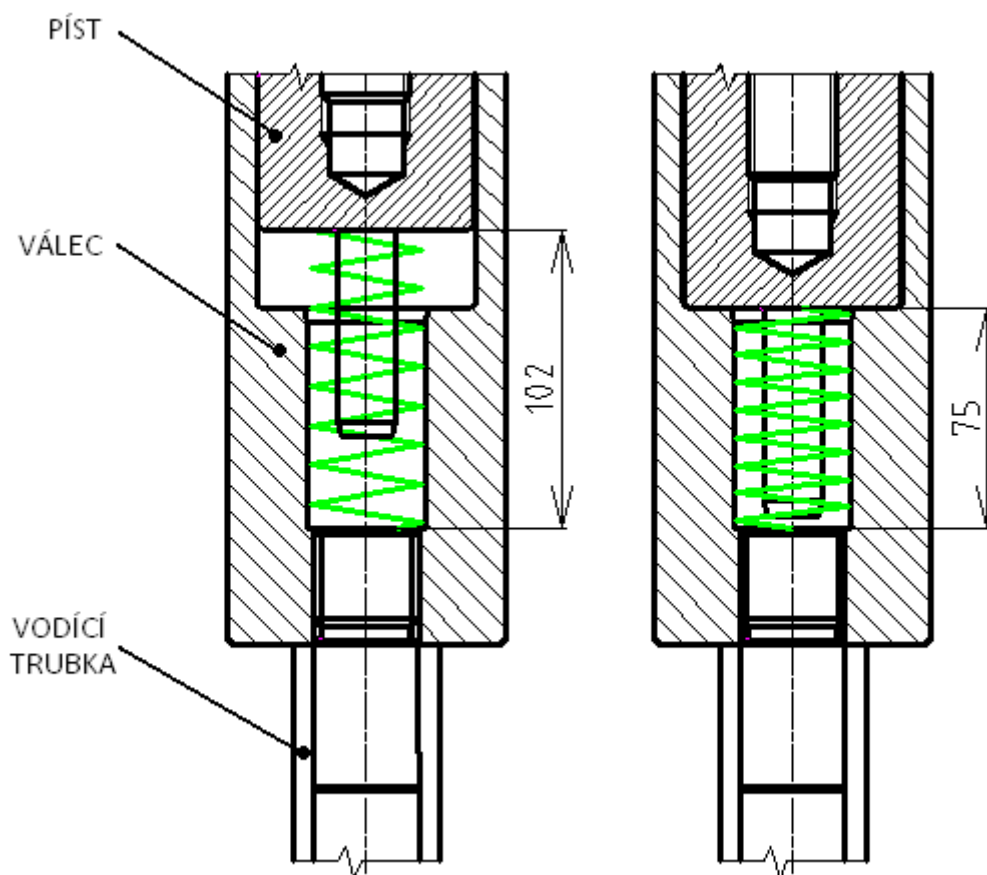
$$F = 1079,1 + 1887$$

$$F_{GV} = 110 \cdot 9,81$$

$$\underline{F = 2966,1 \text{ N}}$$

$$\underline{F_{GV} = 1079,1 \text{ N}}$$

Kde m_{GV} je hmotnost vnitřního ústrojí.



Obrázek č. 20: Schéma maximálního a minimálního stlačení pružiny

Síla F_x , která namáhá čepy na ohyb, má tvar:

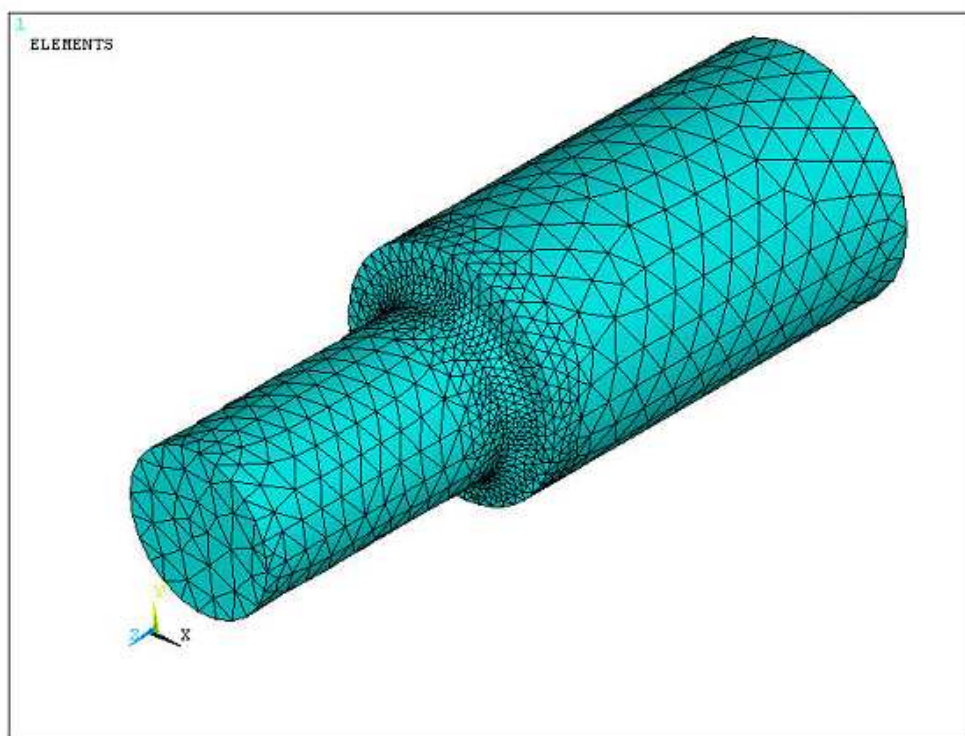
$$F_x = F \cdot \sin 20^\circ \quad (3.21)$$

$$F_x = 2966,1 \cdot \sin 20^\circ$$

$$\underline{F_x = 1014,47 \text{ N}}$$

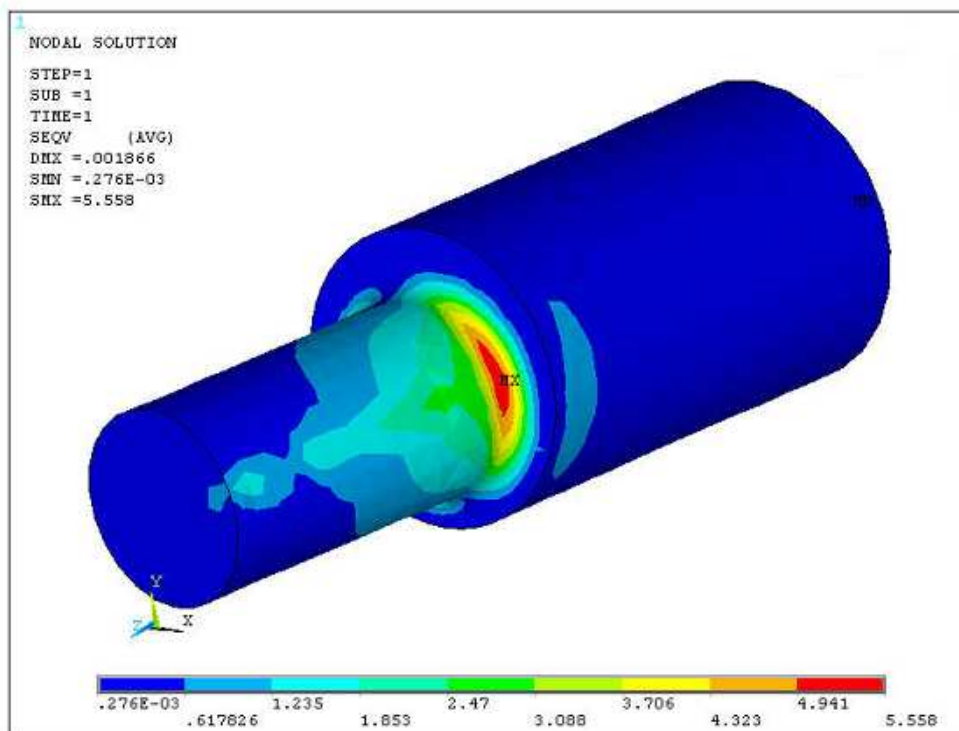
Tato síla působí na vodící šablonu, kterou je nutné zadat pro výpočet MKP poloviční, protože vodící šablona se opírá o dva čepy. Pro MKP výpočet je nutné zadat okrajové podmínky. Mezi okrajové podmínky patří materiál, přesné umístění síly, upnutí čepu a okolní teplota 300 °C. Upnutí kolíku je jištěno po celé válcové ploše většího osazení a síla F_x působí kolmo na čep (viz. Obrázek č. 19).

Správné navržení sítě spočívá v hustém proložení elementů v kriticky namáhaných místech jak je vidět na obrázku č. 21. Software vygeneroval pro tento excentrický kolík 22401 elementů a 32807 uzlů.



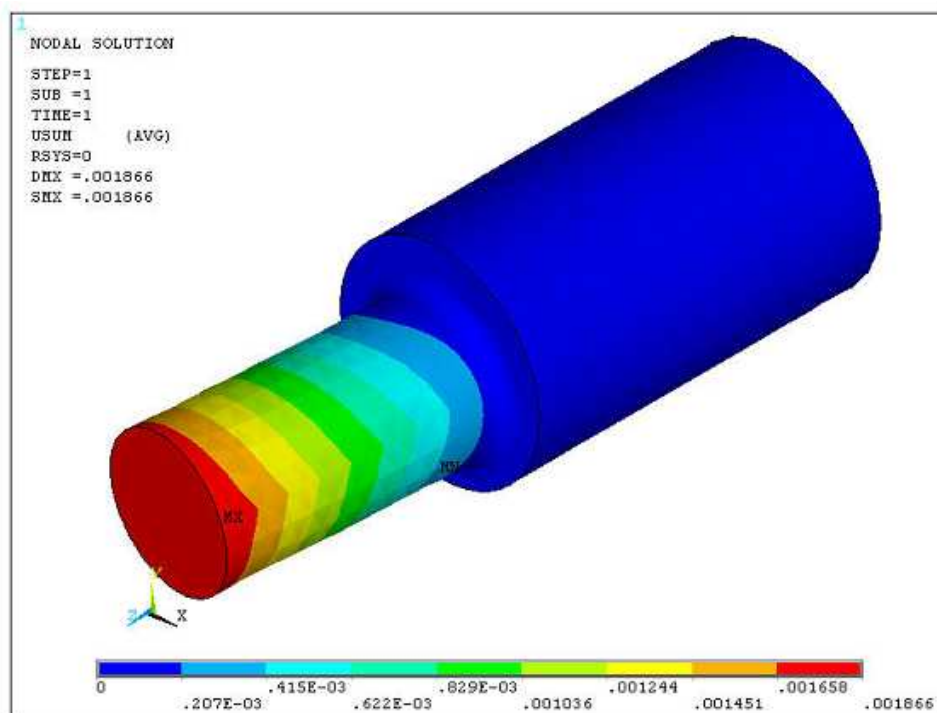
Obrázek č. 21: Sít' elementů na 3D modelu

K max. napětí v ohybu dojde podle předpokladu v místě vrubu. Největší napětí podle software MKP dosahuje hodnoty 5,56 MPa (viz. Obrázek č.22).



Obrázek č. 22: Největší napětí v oblasti zaoblení

Max. průhyb (viz. Obrázek č. 23) na konci excentrického kolíku je nepatrný a má hodnotu 0,002 mm.



Obrázek č. 23: Max. průhyb

Analytické ověření MKP výsledku namáhaného čepu na ohyb:

$$\sigma_0 = \frac{M_0}{W_0} = \frac{F_x \cdot l}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} \quad (3.22)$$

$$\sigma_0 = \frac{1014,47 \cdot 44,5}{\frac{\pi \cdot 40^3}{32}}$$

$$\underline{\sigma_0 = 7,2 \text{ MPa}}$$

Kde l je vzdálenost síly F_x k většímu osazení.

3.3 Dimenzování 2 šroubů, které přitlačují ucpávku

Pro toto dimenzování je potřeba vycházet z předepsaného tlaku výrobcem pro ucpávku utěšňující vodící tyč. Tlak je dán 21 MPa. Výpočet vychází z předem zvolených šroubů M16.

$$F_0 = \frac{p \cdot S}{2} \quad (3.23) \quad S = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \quad (3.24)$$

$$F_0 = \frac{21 \cdot 3317,52}{2} \quad S = \frac{\pi}{4} \cdot (82^2 - 50^2)$$

$$\underline{F_0 = 34833,98 \text{ N}} \quad \underline{S = 3317,52 \text{ mm}^2}$$

$$F_{TZ} = F_0 \cdot (\operatorname{tg} \psi + \operatorname{tg} \varphi') \quad (3.25) \quad \operatorname{tg} \varphi' = \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} \quad (3.26)$$

$$F_{TZ} = 34833,98 \cdot \operatorname{tg} (0,04 + 0,13) \quad \operatorname{tg} \varphi' = \frac{0,11}{\cos 30}$$

$$\underline{F_{TZ} = 5921,78 \text{ N}} \quad \underline{\operatorname{tg} \varphi' = 0,13}$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{Ph}{\pi \cdot d_2} \quad (3.27) \quad M_{TZ} = F_{TZ} \cdot \frac{d_2}{2} \quad (3.28)$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{2}{\pi \cdot 14,7} \quad M_{TZ} = 5921,78 \cdot \frac{14,7}{2}$$

$$\underline{\operatorname{tg} \psi = 0,04} \quad \underline{M_{TZ} = 43525 \text{ Nmm}}$$

$$M_{TM} = F_o \cdot f_M \cdot \frac{S+d_d}{4} \quad (3.29) \quad d_3 \geq 2 \cdot \sqrt{\frac{\beta \cdot k_s \cdot F_o}{\pi \cdot Re}} \quad (3.40)$$

$$M_{TM} = 34833,98 \cdot 0,15 \cdot \frac{24+18}{4} \quad d_3 \geq 2 \cdot \sqrt{\frac{1,3 \cdot 3 \cdot 34833,98}{\pi \cdot 640}}$$

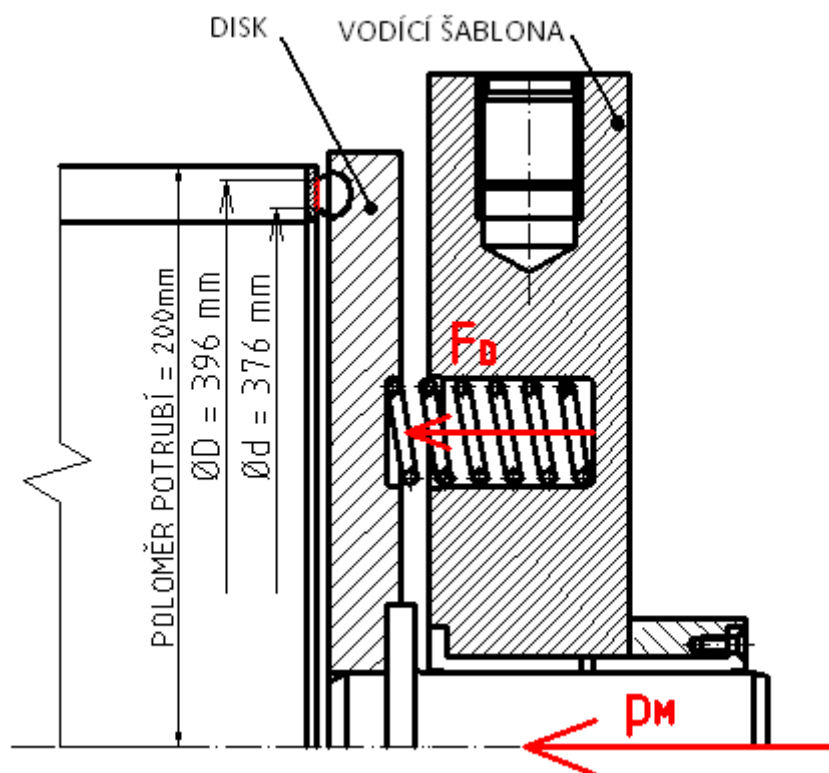
$$\underline{M_{TM} = 54863,55 \text{ Nmm}} \quad \underline{d_3 \geq 13,21 \text{ mm}}$$

Šrouby vyhovují zatížení.

Kde F_o je osová síla v jednom šroubu, S je plocha mezikruží při pohledu na ucpávku shora, F_{tz} je třecí síla v závitech, ψ je úhel stoupání šroubovice, φ' je třecí úhel a d_3 je vnitřní průměr závitu.

3.4 Výpočet tlaku disku na sedlo

Na disk působí celkem 8 ks pružin 90/2/3 (označení viz. katalog Hennlich) řazených paralelně vedle sebe na průměru 220 mm. K celkové síle, vyvolané osmi pružinami je potřeba přičíst tlak proudu větru (viz. Obrázek č. 24).



Obrázek č. 24: Schéma pružiny působící na disk

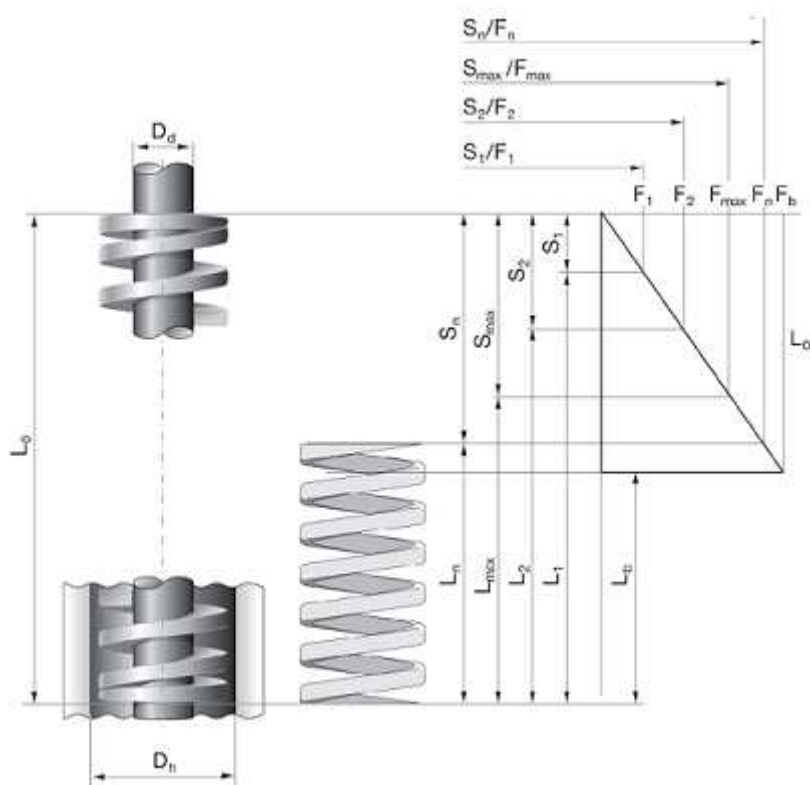
Při stlačení pružiny o hodnotu 38 mm působí pružina směrnou silou 1407,41 N viz. katalog Hennlich. Na obrázku č. 25 je přímka závislosti stlačení pružiny na směrné síle, jejíž průběh je lineární.

Pro paralelní řazení pružin platí, že celková směrná síla F_{CD} osmi pružin je součet směrných sil jednotlivých pružin:

$$F_{CD} = 8 \cdot F_D \quad (3.41)$$

$$F_{CD} = 8 \cdot 447,71$$

$$\underline{F_{CD} = 11259,28 \text{ N}}$$



Obrázek č. 25: Diagram pružiny (Katalog Hennlich)

Tlak disku vzniklý působením pružin:

$$p = \frac{F_{CD}}{S_{STYK}}$$

(3.42)

$$S_{STYK} = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)$$

(3.43)

$$p = \frac{11259,28}{12197,6}$$

$$S_{STYK} = \frac{\pi}{4} \cdot (396^2 - 376^2)$$

$$\underline{p = 0,92 \text{ MPa}}$$

$$\underline{S_{STYK} = 12197,6 \text{ mm}^2}$$

Celkový tlak p_C , kterým působí disk na stykovou plochu mezikruží je součet tlaku p a tlaku média p_M , tedy přehřátého větru, a musí z pevnostního hlediska musí být menší než dovolený tlak návaru na disku a sedla. Dovolенý tlak materiálu Stellite 21 použitého na sedlo a na návar disku je $p_{DOV} = 345 \text{ MPa}$, tato hodnota platí pro teplotu $300 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$p_C = p + p_M \quad (3.44)$$

$$p_C = 0,92 + 0,55$$

$$\underline{p_C = 1,47 \text{ MPa} \leq 345 \text{ MPa}}$$

4 ZÁVĚR

Smyslem celé mojí práce bylo navrhnout šoupátkový uzávěr s ručním ovládáním pro potrubí o průměru 400 mm včetně výkresové dokumentace s příslušnými výpočty. Také jsem v úvodu nastínil informace o horkém větru vstupujícím do vysoké pece a informace o samotné vysoké peci.

Pro konstrukci tělesa šoupátkového uzávěru, vodící šablony, disku a ostatních částí, které jsou v kontaktu s horkým větrem o teplotě 300 °C jsem musel pečlivě vybrat materiál, jenž by této teplotě odolával. Těmto teplotám odolává materiál dle ČSN 15 020. Také bylo třeba vzít v potaz kompletní utěsnění prostoru, ve kterém se nachází disk s vodící šablonou. Vodící trubku utěsňuje ucpávka umístěná nahoře na tělese šoupátka, příruba zespoda a dvě příruby pro čepy na bocích tělesa jsou utěsněny pryžovým těsněním. Víko zespoda tělesa, sloužící pro odpust zkondenzované vody, je rovněž utěsněno pryžovým těsněním a zajištěno závrtnými šrouby.

Čepy, o nichž se opírá vodící šablona, jsou přišroubovány k tělese ventilu pomocí přírub. Každý čep je zakončen přírubou a uchycen čtyřmi šrouby k tělese. Příruba má vyvrtáno 24 děr, které umožňují otočení čepu po 15 stupních. Toto odstupňování slouží pro nastavení případného potřebného axiálního posunutí vodící šablony v dolní poloze, tedy zavřeno. Pevnostní kontrola byla provedena MKP výpočtem a následně ověřena analyticky. Při porovnání výsledků je větší výsledek u analytického řešení, což je ovlivněno nezahrnutím snížení vrubového účinku rádiusem do výpočtu, čili MKP výpočet je přesnější.

Šoupátkový uzávěr se nyní nachází ve fázi výroby, po jejíž ukončení bude instalován do hutnických provozů.

Díky projektu jsem využil poznatky z nejednoho předmětu dosavadního studia, což se mi přidalo pro všechny výpočty zde uvedené a také předmět strojírenská technologie byl velkým podkladem pro úvod mé diplomové práce.

Prostřednictvím závěru děkuji firmě Paul Wurth, a.s. za poskytnutí spolupráce na tomto projektu.

5 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KALOČ, M., BROŽ, L., KRET, J. *Hutnictví železa I (koksárenství a železářství)*. Ostrava: VŠB-TU, 1986.
- [2] BROŽ, L., BALÍK, J., KRET, J. *Vysokopecní výroba železa*. Ostrava: VŠB-TU, 1985. 231 s.
- [3] FURBACHER, I. *Lexikon technických materiálů se zahraničními ekvivalenty*. Praha: 2000.
- [4] KALÁB, K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře*. Ostrava: VŠB-TU, 2007. 90 s.
- [5] LENERT, J. *Pružnost a pevnost II*. Ostrava: VŠB-TU, 1998. 173 s.
- [6] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Praha, 2003. 865 s.
- [7] ČSN 010 6910. *Úprava písemnosti psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, 1997. 36 s.
- [8] *www stránky:*
 - < http://cs.wikipedia.org/wiki/Vysok%C3%A1_pec >
 - < <http://www.armaturygroup.cz> >
 - < <http://hennlich.cz> >
 - < http://www.zimm.at/en/screw_jacks >
 - <http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Cowper_stoves>

6 PŘÍLOHY

Výkresová dokumentace:

- ŠOUPÁTKOVÝ UZÁVĚR, DP-010-00
- TĚLESO ŠOUPÁTKOVÉHO UZÁVĚRU, DP-010-01
- VNITŘNÍ ÚSTROJÍ, DP-010-02
- RÁM POHONU, DP-010-03
- KLIKA, DP-010-12
- DISK, DP-010-021
- VODÍČÍ ŠABLONA, DP-010-022
- STŘEDÍČÍ ČEP, DP-010-024
- VODÍČÍ ČEP, DP-010-025
- ŠROUB M30, DP-010-026
- VODÍČÍ TRUBKA, DP-010-027